



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**“DISEÑO DE PAVIMENTO ARTICULADO Y DISEÑO VIAL, EN EL TRAMO
LAS CRUCES – EL CARACOL DE 5.42 KM DE LONGITUD EN EL MUNICIPIO
DE QUILALÍ NUEVA SEGOVIA”**

Para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado Por:

Br. Delvin Alberto Hernández Herrera

Br. Hellen Bethania Gutiérrez Moreno

Br. Maryi Anielka Monge Moreno

Tutor:

Msc. Ing. José Fernando Bustamante Arteaga

Managua, octubre 2019

Dedicatoria

A mi Dios todo poderoso por permitirme culminar mi carrera, quien me ha brindado sabiduría y fuerzas para seguir adelante; el que ha estado conmigo en cada momento de mi vida.

*De igual manera a mi padre **Álvaro Rafael Gutiérrez Meza**, por su comprensión y ayuda en todos los momentos de mi vida. A ti Papito, porque sin importar la situación siempre me brindaste tu apoyo .. Me has dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, y todo ello acompañado con tu gran amor. ¡Lo quiero muchísimo!*

*A mi madre **Gilma Elena Moreno Rúgame**, por siempre darme los mejores consejos y brindarme todo su amor y comprensión, por todos sus esfuerzos, y su dedicación para darme la mejor enseñanza.*

Hellen Bethania Gutiérrez Moreno

Agradecimiento

Primeramente, me gustaría agradecerle a ti mi Dios por bendecirme y permitirme culminar mi carrera, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

*Gracias a mi padre **Álvaro Rafael Gutiérrez** y a mi madre **Gilma Elena Moreno** por todos sus esfuerzos y su amor invaluable que me han proporcionado la fuerza necesaria para salir adelante y nunca rendirme, por siempre apoyarme sin importar la situación, su ayuda fue de mucha importancia para poder terminar mi carrera por eso y mucho más Gracias.*

*A mi esposo **Fabrizio Santiago Rivera Moncada**, por brindarme siempre su apoyo en esta etapa de mi vida, gracias por su apoyo constante y amor incondicional, por siempre estar conmigo en los momentos más difíciles de mi vida.*

*A mi gran amigo y compañero **Delvin Alberto Hernández Herrera**, gracias por siempre trabajar en equipo en este largo proceso, gracias por tu amistad y comprensión.*

Hellen Bethania Gutiérrez Moreno

Dedicatoria

Dedico este proyecto de tesis a Dios porque ha estado conmigo en cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar.

A mi madre Delia Rubí Herrera Gutiérrez y a mi padre Luis Alberto Hernández Castellón, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento, depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad, es por ellos que soy lo que soy ahora y a quienes amo con mi vida.

Delvin Alberto Hernández Herrera

Agradecimiento

Agradezco a Dios por siempre guiarme por el camino del bien, dándome sabiduría e inteligencia para enfrentar cualquier circunstancia, y así finalizar una etapa más de mi vida con éxito.

Agradezco a mi madre Delia Rubí Herrera Gutiérrez y a mi padre Luis Alberto Hernández Castellón, por su apoyo incondicional en cada etapa y momento de mi vida y también quienes siempre me han enseñado a enfrentar cualquier circunstancia para alcanzar todas las metas que me proponga.

Agradezco a mi gran amiga y compañera de tesis Hellen Bethania Gutiérrez Moreno, por apoyarme siempre en todo el proceso universitario y también por la gran amistad que logramos construir en todo es tiempo.

Delvin Alberto Hernández Herrera

Dedicatoria

Mi trabajo de tesis para optar al título profesional de Ingeniero Civil se lo dedico a, Dios Padre Celestial mi Jesús Sacramentado por haberme dado la fortaleza necesaria para realizar esta investigación y no desfallecer en los momentos más difíciles.

A mi madre Marisol Moreno Pérez, por ser una mujer luchadora, siempre apoyarme a lo largo de mi vida dándome el amor y el apoyo necesario para tomar el camino correcto, por creer en mí y estar conmigo en las buenas y en las malas.

A mi padre Marvin Monge Tinoco, por el apoyo moral y económico que me ha brindado a lo largo de la vida, sus consejos, comprensión, amor y los valores que me ha inculcado.

A mis abuelitos que pasaron a la presencia de Dios, Doroteo Tinoco Sánchez, Josefa Tinoco y Medina y Teresa Pérez Bucardo porque siempre me motivaron con sus valiosos consejos de igual forma instarme a salir adelante en mis estudios, enseñarme a ser más fuerte y luchar por mis metas.

Maryi Anielka Monge Moreno

Agradecimiento

A Dios porque cada día nos bendice y nos ilumina, es la base de nuestras vidas para ser mejores personas y así lograr las metas que nos proponemos sin rendirnos.

*Agradezco a todos mis seres queridos que siempre estuvieron ahí apoyándome, en especial mi hermana **Darit Monge Moreno** dándome ánimo para salir adelante, cada palabra de aliento fue fundamental para mí.*

*A mi complemento perfecto, **Ing. Dennis Fernando Roque Rodríguez**, por su apoyo incondicional, amor y cariño durante estos años de estudio, por brindarme el tiempo necesario para realizarme profesionalmente su ayuda fue primordial para culminar con éxito mi carrera.*

*Gracias a **MSc. Ing. José Fernando Bustamante Arteaga**, por ser nuestro tutor, brindarnos su conocimiento, su valioso tiempo y por acompañarnos en todo el proceso para finalizar este trabajo.*

*Gratifico a todos los docentes de la universidad quienes estuvieron ahí en el transcurso de mi carrera compartiendo sus conocimientos en especial al **Ing. Juan Leonardo Chow**, por ser nuestro guía en parte de nuestro trabajo.*

Maryi Anielka Monge Moreno

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio denominado “**DISEÑO DE PAVIMENTO ARTICULADO Y DISEÑO VIAL, EN EL TRAMO LAS CRUCES – EL CARACOL DE 5.42 KM DE LONGITUD EN EL MUNICIPIO DE QUILALÍ NUEVA SEGOVIA**” presenta la información básica y los criterios necesarios para el diseño de la estructura de pavimento con adoquín aplicando el método de la AASHTO 93 y para el diseño geométrico de la vía se llevó a cabo según las Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2004.

CAPITULO I: GENERALIDADES.

Aborda las generalidades del tema, como: introducción, antecedentes, justificación y objetivos.

CAPITULO II: ESTUDIO DE TRÁNSITO.

Se realizó el estudio de tránsito mediante aforos vehiculares de 12 horas durante una semana para posteriormente determinar el tránsito total que circulará en el tramo, se describe la recopilación de datos, clasificación de vehículos, clasificación del tipo de vehículo de acuerdo con la disposición de sus ejes equivalentes (ESAL's) a los que será sometida la estructura de pavimento.

CAPITULO III: ESTUDIO DE SUELO.

Se presentan, los resultados del estudio de suelo proporcionados por la Alcaldía municipal; donde se analizaron las características físico – mecánicas de los suelos para la determinación de su utilidad en la vía como base, subbase y rasante, que soportará las cargas a las que será sometida, el análisis granulométrico y su respectiva clasificación.

CAPITULO IV: ESTUDIO TOPOGRÁFICO.

Consiste en la obtención y presentación de los datos topográficos (planimétricos y altimétricos) del tramo, con los cuales se determinarán las características del relieve que son necesarias para el diseño vial, donde se realizara la obra.

CAPITULO V: DISEÑO VIAL.

Mediante la poligonal de control establecida en los trabajos de campo, se realizaron las evaluaciones topográficas necesarias para determinar los criterios de diseño, vehículo de diseño, sección típica y diseño planimétricos y altimétrico, usando las Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2004.

CAPITULO VI: DISEÑO DE PAVIMENTO.

Comprende el diseño de pavimento articulado utilizando el método de la AASHTO 93, con el cual se realizó el cálculo de los espesores de cada capa que conforman el pavimento. A la vez se detalla el procedimiento para seleccionar los parámetros de diseño tales como: Ejes equivalentes de diseño, confiabilidad, serviciabilidad, desviación estándar y el CBR de diseño; el cual sirve como base para determinar el módulo de resiliencia y el valor de los coeficientes estructurales.

ÍNDICE

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1 Introducción.....	1
1.1.1 Descripción General de la Zona de Estudio.....	1
1.2 Ubicación.....	2
1.2.1 Macro y Micro Localización.....	2
1.3 Antecedentes.....	3
1.4 Justificación.....	4
1.5 Objetivos.....	5
1.5.1 Objetivo General.....	5
1.5.2 Objetivos Específicos.....	5

CAPITULO II: ESTUDIO DE TRÁNSITO

2.1 Aforos Vehiculares.....	6
2.2 Volumen de Tránsito.....	6
2.3 Tránsito Promedio Anual (TPDA).....	6
2.4 Clasificación Vehicular.....	7
2.4.1 Tipos de Vehículos.....	7
2.5 Trabajo de Campo.....	8
2.5.1 Conteo Vehicular.....	8

2.5.1.1 Expansión a 24 Horas.	9
2.5.2 Tránsito Promedio Diario Semanal.	10
2.5.3 Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).	11
2.5.4 Proyección del Tráfico.....	12
2.5.4.1 Crecimiento Poblacional.....	13
2.5.4.2 Tasa de Crecimiento Vehicular.	14
2.5.4.3 Producto Interno Bruto (PIB).	15
2.6 Tránsito de Diseño.....	16
2.6.1 Período de Diseño (N).....	16
2.6.2 Factor de Crecimiento (FC).....	16
2.6.3 Factor Direccional (FD).	17
2.6.4 Factor de Distribución por Carril.....	18
2.7 Determinación de Tránsito de Diseño.....	18

CAPITULO III: ESTUDIO DE SUELO

3.1 Estudio de Suelo.	21
3.2 Descripción de los Suelos.	21
3.2.1 Granulometría.....	21
3.2.2 Plasticidad.....	21
3.2.2.1 Propiedades de La Plasticidad.	21

3.3 Clasificación de los Suelos.....	22
3.4 Análisis de Datos.....	22
3.5 Trabajo de Campo.....	22
3.6 Trabajos de Laboratorio.....	22
3.7 Resultados obtenidos.....	23
3.7.1 Sondeos de Línea.....	23
3.7.2 Ensayo CBR.....	29
3.7.3 Estratigrafía del Suelo.....	29
3.7.4 Fuentes de Materiales.....	32
3.7.4.1 Análisis de Bancos de Préstamos.....	33
3.8 CBR de Diseño.....	34

CAPITULO IV: ESTUDIO TOPOGRÁFICO

4.1 Estudio Topográfico.....	37
4.2 Trabajo de Campo.....	38
4.2.1 Establecimiento de puntos Geo – Referenciados.....	38
4.2.2 Establecimiento de Puntos de Línea Base.....	40
4.2.3 Elección del Método.....	41
4.2.4 Planimetría.....	41
4.2.4.1 Alineamiento Horizontal.....	41

4.2.4.2 Eje de la Carretera.	42
4.2.4.3 Perfil Longitudinal.	42
4.2.4.4 Curvas Horizontales	44
4.2.5 Altimetría.	45
4.2.5.1 Establecimiento de BMs.	45
4.2.5.2 Determinación de Pendientes Predominantes.	46
4.2.5.3 Determinación de Radios de Giro Actuales.	46
4.2.5.4 Determinación de Derecho de Vía.....	47
4.3 Trabajos de Gabinete.	47

CAPITULO V: DISEÑO VIAL

5.1 Diseño Geométrico.	48
5.2 Factores o Condicionantes del Diseño Geométrico.....	49
5.3 Drenaje.	50
5.4 Señalización.	50
5.4.1 Señalización Vertical.....	50
5.4.2 Señalización Horizontal - Demarcación en el Pavimento.....	51
5.5 Resultados Obtenidos.	52
5.5.1. Clasificación del Tipo de Vía.....	52
5.5.2 Selección del Vehículo de Diseño.....	53

5.5.3 Selección de Velocidad de Diseño.....	53
5.5.4 Sección Típica de Diseño.	55
5.5.5 Distancia de Visibilidad en Carreteras.	57
5.5.5.1 Distancia de Visibilidad de Parada (DVP).	57
5.5.5.2 Distancia de Visibilidad de Adelantamiento (DVA).	58
5.5.6 Radio Mínimo de Curva.	62
5.5.7 Grado de Curvatura.	64
5.5.8 Sobre Ancho en Curvas Horizontales.	64
5.5.9 Longitud de Transición.....	67
5.5.10 Alineamiento Vertical.	72
5.5.10.1 Pendiente Longitudinal Máxima.	72
5.5.10.2 Curvas Verticales.	72
5.5.10.3 Cálculo de Curva Vertical.....	78
5.5.11 Resultados del Alineamiento Horizontal y Alineamiento Vertical	79
5.5.12 Señalización de la Vía.....	81
5.5.13 Datos Finales para Diseño.....	82

CAPITULO VI: DISEÑO DE PAVIMENTO

6.1 Diseño de Pavimento.	83
6.2 Tipos de Pavimento.....	84

6.3 Consideraciones para el Cálculo.	85
6.4 Método para el Diseño de Pavimento Articulado AASHTO-93.	85
6.5 Variables de Diseño.	86
6.5.1 Variable en Función del Tránsito.	86
6.5.2 Confiabilidad (R).	86
6.5.3 Desviación estándar (So).	87
6.5.4 Serviciabilidad.	88
6.5.5 Coeficiente de Drenaje.	89
6.5.6 Periodo de Diseño.	90
6.5.7 Número Estructural (SN).	90
6.5.8 Factor de Equivalencia (FESAL).	90
6.5.9 Análisis de Cargas y Ejes Equivalente para el Diseño de Pavimento.	90
6.5.10 Módulo de Resiliencia (MR).	91
6.6 Diseño Estructural del Pavimento.	92
6.6.1 Coeficientes de Capas.	93
6.6.1.1 Coeficiente Estructural (a_1).	94
6.6.1.2 Coeficientes Estructurales para base (a_2) y para Subbase (a_3).	94
6.6.2 Número Estructural (SN1).	96
6.6.3 Números Estructurales (SN ₂) y (SN ₃).	97

6.6.3.1 Obtención de SN2 y SN3.	98
6.6.4 Diseño 1	99
6.6.5 Diseño 2.....	101
CONCLUSIONES.....	103
RECOMENDACIONES	105
BIBLIOGRAFIA.....	106
ANEXOS	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Aforo Vehicular en ambos sentidos, del 11 al 17 de marzo de 2019.....	8
Tabla 2: Factor de Ajuste de la Estación Sumaria 111 Condega - Shell Palacagüina.....	9
Tabla 3: Expansión de Tránsito en ambos sentidos, de 12 horas a 24 horas, del 11 al 17 de marzo de 2019	10
Tabla 4: TPDS por Tipo de Vehículo, del 11 al 17 de marzo de 2019.....	11
Tabla 5: Calculo del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) ₂₀₁₉	12
Tabla 6: Tasa de Crecimiento (2005 - 2020)	13
Tabla 7: Datos Históricos del TPDA	14
Tabla 8: Producto Interno Bruto (PIB)	15
Tabla 9: Periodo de Diseño (N)	16
Tabla 10: Factor de Distribución por Dirección (FD).....	18
Tabla 11: Factor de Distribución por Carril (FC)	18
Tabla 12: TPDA Proyectado para el tramo Las Cruces - El Caracol	19

Tabla 13: Tránsito de Diseño para el tramo Las Cruces - El Caracol.....	20
Tabla 14: Ensayes de Laboratorio Realizados	23
Tabla 15: Resumen de Sondeos Realizados (Sondeo 1 – Sondeo 6).....	25
Tabla 16: Resumen de Sondeos Realizados (Sondeo 7 - Sondeo 12)	26
Tabla 17: Resumen de Sondeos Realizados (Sondeo 13 - Sondeo 18)	27
Tabla 18: Resumen de Sondeos Realizados (Sondeo 19 - Sondeo 23)	28
Tabla 19: Resultados de Bancos de Materiales	33
Tabla 20: Especificaciones para Base Granular	33
Tabla 21: Especificaciones para Subbase Granular	34
Tabla 22: Criterio Instituto de Asfalto para Diseño de CBR.....	35
Tabla 23: Valores para Determinar CBR de Diseño	35
Tabla 24: Levantamiento Topográfico del Tramo en Estudio	43
Tabla 25: Ubicación de BMs.....	45
Tabla 26: Clasificación de Radios de Giro Predominantes en el Tramo.....	47
Tabla 27: Clasificación de Tipo de Vía, según el TPDA	52
Tabla 28: Dimensiones de los Vehículos de Diseño.....	53
Tabla 29: Elementos de Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales.....	54
Tabla 30: Clasificación de Terrenos en Función de Pendientes.....	55
Tabla 31: Velocidad de Diseño.....	55
Tabla 32: Sobreanchos de la Vía en estudio Las Cruces - El Caracol	66
Tabla 33: Pendiente Relativa según Velocidad de Diseño	70
Tabla 34: Distribución de Peraltes y Longitud de Transición.....	71

Tabla 35: Controles de Diseño de Curvas Verticales en Cresta basados en las Distancias de Visibilidad de Parada	74
Tabla 36: Controles de Diseño de Curvas Verticales en Columpio basados en la Distancia de Visibilidad de Parada	76
Tabla 37: Datos de Curvas Horizontales Proyectadas	80
Tabla 38: Datos de Curvas Verticales Proyectadas	81
Tabla 39: Criterios de Diseño	82
Tabla 40: Niveles de confiabilidad sugeridos para diferentes Carreteras	87
Tabla 41: Coeficientes de Drenaje	89
Tabla 42: Ejes Equivalentes (ESAL) por Tipo de Vehículo y por Eje.....	91
Tabla 43: Calculo de Modulo de Resiliencia.....	92
Tabla 44: Espesores Mínimos Sugeridos por Capa	99
Tabla 45: Espesores de Diseño 1.....	101
Tabla 46: Espesores de Diseño 2.....	102
Tabla 47: Tipología y Descripción de los Diferentes Tipos de Vehículos	I
Tabla 48: Formato de conteos de Tráfico	I
Tabla 49: Clasificación de Suelos AASHTO	I
Tabla 50: Distancia Mínima de Adelantamiento en base a Velocidad de Diseño.....	I
Tabla 51: Cargas Permisibles de Vehículos Livianos y Pasajeros.....	I
Tabla 52: Cargas Permisibles por Tipo de Vehículo.....	I
Tabla 53: Factores Equivalentes de Carga, Ejes Simples, $P_t = 2.0$	VI
Tabla 54: Factores Equivalentes de Carga, Ejes Tándem, $P_t = 2.0$	VII

CAPITULO I

GENERALIDADES



1.1 Introducción.

1.1.1 Descripción General de la Zona de Estudio.

En Nicaragua el acceso vial es de mucha importancia para el desarrollo social y económico. La mejora de la accesibilidad contribuye al crecimiento de los sectores productivos y comerciales.

Por lo antes mencionado se busca mejorar el tramo vial Las Cruces – El Caracol, perteneciente al municipio de Quilalí, el cual está ubicado en las coordenadas N13° 36´ 05.43” W 86° 05´ 11.08” con una altura de 827.00 msnm. La distancia a la ciudad de Ocotlán cabecera departamental es de 80Km. **(Ver Macro y Micro Localización pág. 2)** La mayor parte de la población económicamente activa que vive en un área cerca del tramo carretero Las Cruces – El Caracol, trabajan como agricultores, jornaleros y comerciantes.

Por la vía transitan vehículos pesados y vehículos livianos, por lo que es necesario que la vía permanezca en buen estado y tenga un buen nivel de servicio que facilite el transporte de carga y pasajeros.

No obstante, este tramo se encuentra cada vez más deteriorado debido al tránsito vehicular y al poco mantenimiento vial, a tal punto que los transportistas optan por vías alternas que por lo general tienen mayor distancia, incurriendo de esta manera en mayores costos de operación.

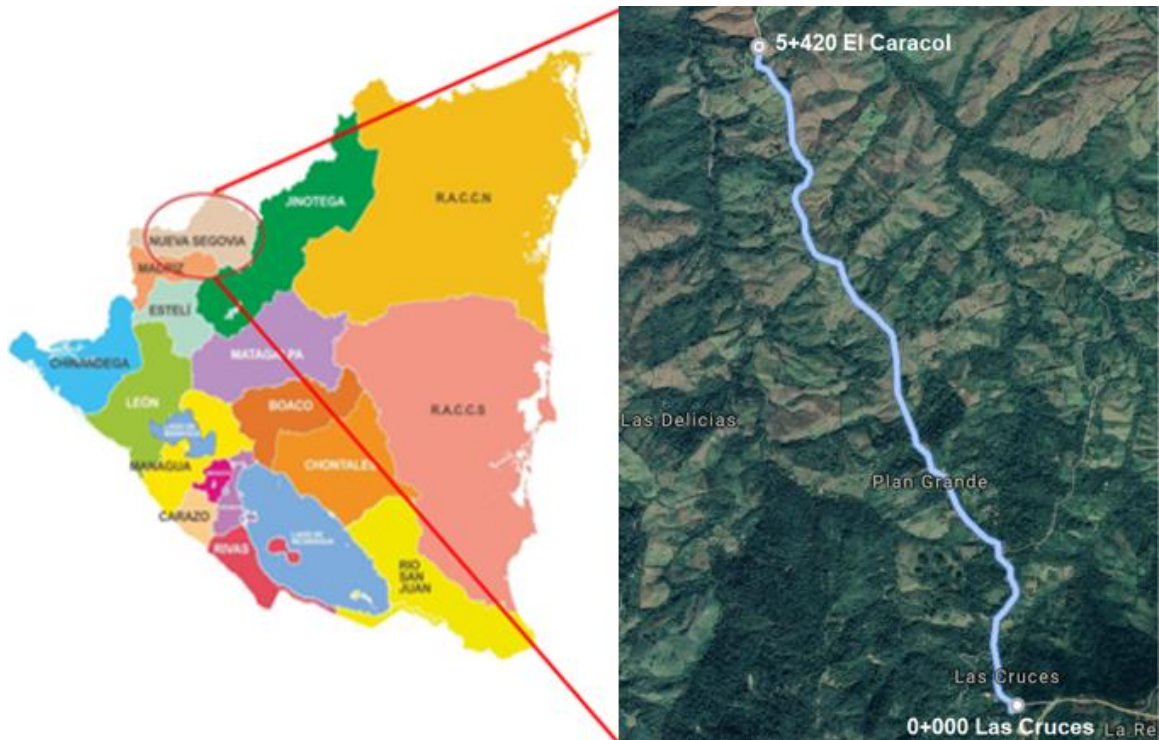
Por tanto, se propone en el presente estudio el diseño de 5.42 km en el tramo de carretera Las Cruces – El Caracol, utilizando pavimento articulado (adoquín) para lo cual se utilizará el método AASHTO 93, y para el diseño geométrico de la vía utilizamos el Manual Centro Americano de la SIECA (Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales) que es de uso a nivel nacional y centroamericano. Se espera que esta acción contribuya a impulsar el proyecto del mejoramiento del tramo promovido por el MTI.

1.2 Ubicación.

1.2.1 Macro y Micro Localización.

El tramo de carretera Las Cruces – El Caracol se encuentra ubicado en la carretera Las Cruces – Susucayán, en el municipio de Quilalí, departamento de Nueva Segovia.

Imagen 1: Macro y Micro Localización Las Cruces - El Caracol



Fuente: Elaboración Propia – Google Maps.

1.3 Antecedentes.

Las comunidades de Las Cruces – La Reforma – Plan Grande, El Caracol son localidades del tipo rural muy dispersas, compuesta de 353 viviendas, con una población total de 1,642 habitantes.

En las comunidades antes mencionadas, las actividades que se realizan son agropecuarias, especialmente cultivándose café, frijoles, maíz, hortalizas, teniendo una producción de frijoles de 2,000 quintales y de café 1,500 cargas por temporada y cuenta con alrededor de 456 cabezas de ganado.

Se cuenta que en el año 1930 fue creada la primera vía de acceso que va de la cabecera departamental Ocotlán hacia el municipio de Susucayán, Nueva Segovia y de Susucayán hacia Las Cruces - Quilalí solo existía un camino para transportarse en bestias, lo que en ese entonces dificultaba la comercialización de sus granos básicos.

Para el año 1950, por primera vez se realiza la vía de comunicación en el tramo de rehabilitación Las cruces - Plan Grande - El Caracol por compañías norteamericanas de madera (Yodeca, Emaga).

Años posteriores a la ampliación, el gobierno local, el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), Fondo de Mantenimiento Vial (FOMAV), han venido realizando mejoras y brindando mantenimiento al camino.

Siendo que el tramo de carretera Las Cruces – El Caracol presta servicio a comunidades pequeñas, la mencionada ruta se encuentra en mal estado. No obstante, se han realizado mejoras, pero éstas no han tenido mucho éxito, debido al constante flujo de vehículos, en su mayoría vehículos pesados. En consecuencia, existe dificultad del acceso del transporte público y privado, lo que empeora en el periodo de invierno; situación que limita el desarrollo socioeconómico de las comunidades afectadas, a pesar de su potencial productivo.

1.4 Justificación.

En los últimos años ha venido aumentando la necesidad de poseer en buenas condiciones el camino hacia las comunidades Las Cruces – La Reforma – Plan Grande - El Caracol ya que la zona está experimentando un avance económico debido a sus producciones agrícolas y sus actividades de comercio, siendo para los pobladores un beneficio la mejora de esta vía que utilizan para transportar su producción. **(Ver Anexos Imagen 2, 3, pág. I)**

A pesar de la importancia económica de la zona actualmente las comunidades Las Cruces - El Caracol, no cuentan con una vía de transporte en buen estado y debido a esto el transporte colectivo se ve muy afectado.

Cabe recalcar que la población urbana de Quilalí también se ve afectada, puesto que el tramo de Las Cruces – El Caracol es una de las principales vías para movilizarse hacia la cabecera departamental Ocotlán, tramo que actualmente solo permite el paso para vehículos 4x4.

Por lo antes expuesto, se propone diseñar con pavimento articulado, para 5.42 km de longitud, utilizando el método AASHTO 93, ya que es uno de los métodos más utilizados.

Los grandes y pequeños productores de la zona tendrán facilidades de llevar sus productos al comercio, esto influirá de manera directa en la reducción de gastos.

En síntesis, este proyecto beneficiará a las comunidades de Las Cruces – La Reforma - Plan Grande - El Caracol, compuestas por 353 viviendas, con una población total de 1,642 habitantes, además indirectamente beneficiará el transporte de pasajeros y carga de los municipios de Quilalí y Wixilí. El mencionado proyecto solucionará las necesidades de la población, que demandan de un buen camino para mejorar su transporte, y es de indispensable importancia para levantar la economía de la zona y optar a un mayor desarrollo económico del país.

1.5 Objetivos.

1.5.1 Objetivo General.

- Diseñar estructura de pavimento articulado y diseño vial, de 5.42 km en el tramo Las Cruces – El Caracol, Quilalí Nueva Segovia, que beneficiara a 1,642 habitantes.

1.5.2 Objetivos Específicos.

- Realizar aforo vehicular con la finalidad de calcular el TPDA y la capacidad de carga que actuara en la estructura.
- Analizar los resultados de los estudios de suelo proporcionados por la Alcaldía Municipal, del tramo de carretera Las Cruces – El Caracol, para determinar las propiedades que posee el suelo y si es necesario realizar mejoras a la estructura de pavimento.
- Hacer un estudio topográfico del tramo de carretera Las Cruces – El Caracol, para conocer las características del relieve que son necesarios para el diseño vial de la vía.
- Realizar diseño vial del tramo de carretera Las Cruces – El Caracol, basado en las Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2004.
- Diseñar la estructura de pavimento articulado aplicando el método AASHTO 93.

CAPITULO II

ESTUDIO DE TRANSITO



2.1 Aforos Vehiculares.

El aforo vehicular es una muestra de los volúmenes para el periodo en el que se realiza y tiene por objetivo cuantificar el número de vehículos que pasan por un punto, sección de un camino o una intersección (SIECA, 2004).

Estos aforos se realizan con el objeto de:

- Servir de base para la clasificación de caminos.
- Datos útiles para la planeación de rutas y determinación de proyectos geométricos.
- Proyectar sistemas de control de tránsito.
- Elaborar sistemas de mantenimiento.
- Establecer prioridades y técnicas de construcción.

2.2 Volumen de Tránsito.

Se define como el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados, de un carril o de una calzada, durante un periodo determinado y se obtiene a través de aforos vehiculares.

Tránsito Anual (TA): Es el número total de vehículos que pasan durante un año.

Tránsito Diario (TD): Es el número total de vehículos que pasan durante un día.

Tránsito Semanal (TS): Es el número de vehículos que pasan durante una semana.

2.3 Tránsito Promedio Anual (TPDA).

El tránsito promedio diario Anual o TPDA, es el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un periodo de tiempo, que es igual a un año dividido entre los 365 días. El tránsito promedio diario anual se

obtiene de la expansión del tránsito promedio diurno de 12 horas recopiladas en aforos, a tránsito de 24 horas haciendo uso de factores día, semana y temporada.

2.4 Clasificación Vehicular.

Para la clasificación de los vehículos, el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) ha designado la siguiente terminología para los vehículos que circulan a través de la infraestructura vial en el país. **(Ver Anexo, Tabla 47, Pág. II)**

2.4.1 Tipos de Vehículos.

La hoja de clasificación vehicular usada por el MTI, está compuesta por 16 tipos de vehículos, los cuales se mencionan a continuación:

- Motocicleta
- Automóvil
- Jeep
- Camioneta
- Microbus
- Minibus Bus
- Liviano de carga
- Camion rigido sencillo, 2 ejes
- Camion rigido sencillo, 3 ejes
- Camión de carga Tx –Sx-<4
- Camión de carga Tx –Sx->5
- Camión combinado Cx –Rx-<4
- Camión combinado Cx –Rx->5
- Vehículo agrícola (tractor)
- Vehículo de construcción (niveladora)
- Otro (remolque halado por un vehículo liviano)

2.5 Trabajo de Campo.

2.5.1 Conteo Vehicular.

El conteo vehicular del tramo en estudio se llevó a cabo de Lunes a Domingo en la semana del 11 al 17 de marzo del 2019, con la finalidad de conocer la cantidad y composición vehicular que circulan por la vía antes mencionada, para lo que se utilizó el formato presentado en el **Anexo, Tabla 48, Pág. III.**

Este conteo fue llevado a cabo de 6:30 a.m. a 6:30 p.m., teniendo un total de 12 horas, por un equipo de tres personas (distribuidos en puntos diferentes), debido a que el tramo tiene vías alternas que causan diferencias entre el tránsito de entrada y el de salida.

Tabla 1: Aforo Vehicular en ambos sentidos, del 11 al 17 de marzo de 2019, (12 hrs).

Día	Vehiculos Livianos				Vehiculos Pasajeros				Vehiculos de Carga		Volumen Diurno (Veh/ 12hrs)
	Motos	Autos	Jeep	Camionetas	Mbus	MB>15P	Bus	C2 Liv.	C2>5Ton	C3	
Lunes	248	13	15	106	5	2	6	14	8	3	420
Martes	228	10	11	92	3	1	6	12	7	2	372
Miercoles	130	8	10	73	4	0	6	9	6	3	249
Jueves	125	7	5	55	2	0	6	6	7	0	213
Viernes	262	16	18	126	4	2	6	12	10	2	458
Sabado	245	10	8	122	2	2	6	11	9	3	418
Domingo	112	5	5	64	2	0	5	4	5	1	203

Fuente: Elaboración Propia

El conteo vehicular se realizó en un periodo 6:30 am, 6:30 pm, dado que estas horas son las más transitadas en la zona de estudio.

2.5.1.1 Expansión a 24 Horas.

Los volúmenes de tráfico diurno de 12 horas se expandieron a tráfico de 24 horas, haciendo uso del factor de expansión día por tipo de vehículo de la estación sumaria **111 Código NIC – 1, Condega – Shell Palacagüina**, correspondiente al conteo del año 2017.

Tabla 2: Factor de Ajuste de la Estación Sumaria 111 Condega - Shell Palacagüina

Camino: NIC-1	Estación: 111	Tramo: Condega - Shell Palacaguina	Periodo L	Días: 3	Horas:	Mes/Año junio 2017	Km: 187.300												
Grupos	Motos	Vehiculos de Pasajeros						Vehiculos de Carga						Equipo Pesado			Total		
		Autos	Jeep	Cam.	McBus <15 s.	MnBus 15-30 s.	Bus 30+ s.	Liv. 2-5 t.	C2 5+ t.	C3	Tx-Sx <=4 e.	Tx-Sx >=5 e.	Cx-Rx <=4 e.	Cx-Rx >=5 e.	V.A.	V.C.		Otros	
	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	18	19		21	
TP(D)	624	386	193	821	24	4	134	242	154	50	38	203			1		2	2876	
Factor Dia	1.23	1.30	1.32	1.29	1.36	1.30	1.17	1.30	1.40	1.32	1.00	1.57	1.00	1.00	1.13	2.00	1.19		
Factor Semana	0.96	1.00	1.02	0.96	0.94	0.98	0.95	0.88	0.86	0.86	1.00	0.91	1.00	1.00	0.86	1.00	0.92		
Factor Ajuste	0.61	0.87	0.87	0.94	0.93	0.95	0.90	0.96	0.92	0.87	1.48	1.02	1.00	1.00	1.16	0.76	0.83		
TPDA May-Ago	447	438	227	953	29	5	134	266	173	49	56	294			1		2	3,074	
% TPDA	14.54	14.25	7.38	31.00	0.94	0.16	4.36	8.65	5.63	1.59	1.82	9.56			0.03		0.07	100.00	
% Vehiculos Livianos		68.28%						% Vehiculos Pesados						31.65%			0.07%		100.00%

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico, MTI, año 2017

Se utilizó la estación sumaria **111 Código NIC – 1, Condega – Shell Palacagüina**, ya que es la más actual y la más cercana al tramo en estudio Las Cruces – El Caracol.

Tabla 3: Expansión de Tránsito en ambos sentidos, de 12 horas a 24 horas, del 11 al 17 de marzo de 2019

Tipo de Vehículo	Factor Día	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes		Sábado		Domingo		Tránsito Total 24 Horas
		12 Horas	24 Horas	12 Horas	24 Horas	12 Horas	24 Horas	12 Horas	24 Horas	12 Horas	24 Horas	12 Horas	24 Horas	12 Horas	24 Horas	
Motos	1.23	248	306	228	281	130	160	125	154	262	323	245	302	112	138	1664
Autos	1.3	13	17	10	13	8	11	7	10	16	21	10	13	5	7	92
Jeep	1.32	15	20	11	15	10	14	5	7	18	24	8	11	5	7	98
Camionetas	1.29	106	137	92	119	73	95	55	71	126	163	122	158	64	83	826
Mbus	1.36	5	7	3	5	4	6	2	3	4	6	2	3	2	3	33
MB>15P	1.3	2	3	1	2	0	0	0	0	2	3	2	3	0	0	11
Bus	1.17	6	8	6	8	6	8	6	8	6	8	6	8	5	6	54
C2 Liv	1.3	14	19	12	16	9	12	6	8	12	16	11	15	4	6	92
c2>5ton	1.4	8	12	7	10	6	9	7	10	10	14	9	13	5	7	75
C3	1.32	3	4	2	3	3	4	0	0	2	3	3	4	1	2	20
Total		420	533	372	472	249	319	213	581	458	581	418	530	203	259	3275

Fuente: Elaboración Propia

2.5.2 Tránsito Promedio Diario Semanal.

El tránsito promedio diario semanal es el tránsito total registrado por semana, dividido por los siete días de la semana. De la expansión del tránsito (**Tabla 3, pág. 10**), se determina el tránsito promedio diario semanal por medio de la siguiente ecuación:

$$TPDS = \frac{TS}{7} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

TPDS = Tránsito promedio semanal.

TS = Tránsito semanal.

Los valores del TPDS se presentan en la **Tabla 4**.

Tabla 4: TPDS por Tipo de Vehículo, del 11 al 17 de marzo de 2019

Tipo de vehículo	Tránsito semanal	TPDS
Motos	1664	238
Autos	92	13
Jeep	98	14
Camionetas	826	118
Mbus	33	5
MB>15P	11	2
Bus	54	8
C2 Liv	92	14
c2>5ton	75	11
C3	20	3
TOTAL	3275	424

Fuente: Elaboración Propia

2.5.3 Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).

El tránsito promedio diario anual, representa el promedio de los volúmenes diarios de tránsito durante un año en una sección dada de una vía.

Para obtener el tránsito promedio diario anual del tramo Las Cruces - El Caracol se tomó como referencia los datos registrados por el MTI; mediante aforos que dicha institución realiza en estaciones permanentes, ubicadas en toda la red vial del país.

El MTI ha desarrollado factores de ajustes, con el objetivo que si se lleva a cabo un conteo vehicular sea posible aplicar dichos factores, desarrollados a partir de la estación permanente y obtener así el TPDA en un tramo de carretera previamente establecido.

Tomando los valores del TPDS (**Tabla 4, pág. 11**) y los factores de ajuste de la estación sumaria (**Tabla 2, pág. 9**); determinamos el TPDA para cada tipo de vehículo. Por lo tanto, el TPDA se determina con la siguiente ecuación:

$$\text{TPDA} = \text{TPDS} \times \text{Factor de Ajuste}$$

Ecuación (2)

Tabla 5: Calculo del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)₂₀₁₉

Vehículos	Motos	Autos	Jeep	Camionetas	Mbus	MB>15P	Bus	C2 Liv	c2>5ton	C3	Total
TPDS	238	13	14	118	5	2	8	14	11	3	424
Factor Ajuste	0.61	0.87	0.87	0.94	0.93	0.95	0.9	0.96	0.92	1	
TPDA	146	12	13	111	5	2	8	14	11	3	325
% TPDA ₂₀₁₉	45%	4%	4%	34%	1%	1%	2%	4%	3%	1%	
% Vehículos Livianos					87%	% Vehículos Pesados				13%	100%

Fuente: Elaboración Propia

% Vehículos Livianos= 45 + 4 + 4+ 34+ 1 = 87%.

% Vehículos Pesados= 1+ 2 + 4+ 3+ 1 = 13%.

2.5.4 Proyección del Tráfico.

La proyección del tráfico es la predicción del volumen del tránsito futuro; su composición y evolución que puede experimentar a lo largo del periodo de diseño, es de gran utilidad para obtener un diseño óptimo. El parámetro principal que debe considerarse es la tasa de crecimiento vehicular anual, de igual manera se toma en cuenta las siguientes variables:

2.5.4.1 Crecimiento Poblacional.

Cambio en la población en un cierto plazo, y puede ser cuantificado como el cambio en el número de individuos en una población usando "tiempo por unidad" para su medición.

Según las estimaciones del Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE) se obtuvieron las tasas de crecimiento por municipio, las cuales fueron ajustadas a las tasas estimadas para los departamentos. Finalmente, para la proyección hasta el año 2020, se tomó la población base del año 2005.

Tabla 6: Tasa de Crecimiento (2005 - 2020)

Año	Tasa de Crecimiento (TC)
2005 – 2010	1.3
2010 – 2015	1
2015 – 2020	1.1
Promedio TC	1.13

Fuente: Instituto Nacional de Información de Desarrollo, INIDE

Según el último censo realizado por el Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE); en el año 2015 la tasa de crecimiento poblacional en el municipio de Quilalí fue de 1.1.

2.5.4.2 Tasa de Crecimiento Vehicular.

Para determinar la tasa de crecimiento vehicular, se usa la siguiente ecuación:

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_o} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] * 100 \quad \text{Ecuación (3)}$$

Dónde:

TC: Tasa de crecimiento vehicular.

TPDA_i: Tráfico promedio diario actual.

TPDA_o: Tráfico promedio diario del año base.

n: Diferencia de años.

Para el comportamiento vehicular tomamos en cuenta el tránsito de la estación sumaria N° 111 cubierta por el MTI; la que corresponde a nuestro tramo en estudio (NIC– 1) Condega – Shell Palacagüina.

Tabla 7: Datos Históricos del TPDA

(NIC-1) – Condega – Shell Palacagüina – Estación No. 111										
Año	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
TPDA	2,955	2,880	-	2,740	2,622	-	-	4,361	-	3,074

Fuente: Anuario de aforos de tráfico, año 2017, MTI

Aplicando la **Ecuación 3** para determinar la tasa de crecimiento para el periodo (2015 – 2017) obtenemos:

$$TC = \left[\left(\frac{3,074}{4,361} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right] * 100$$

$$TC = -0.160424 * 100 = -16.04\%$$

Concluimos que para este período el tráfico en el tramo tuvo una reducción del **16.04%**.

2.5.4.3 Producto Interno Bruto (PIB).

El producto interno bruto (PIB) es un indicador económico que refleja el valor monetario de todos los bienes y servicios finales producidos por un país en un determinado periodo de tiempo, normalmente un año.

El PIB promedio de los últimos 5 años es de **4.5%**.

Tabla 8: Producto Interno Bruto (PIB)

Año	Crecimiento PIB
2014	4.8
2015	4.8
2016	4.6
2017	4.7
2018	3.8
Promedio	4.5

Fuente: Informe Anual 2018, BCN

Por lo tanto, para definir la tasa de crecimiento vehicular, se estableció en base a la economía del país, ya que en la zona de Las Vueltas – El Caracol se tiene una alta demanda de producción de granos básicos como el frijol y el maíz, y a la vez la producción de café de las comunidades aledañas, los cuales deben ser transportados a la cabecera departamental, lo cual tendrá un impacto directo en el tránsito vehicular. Por lo tanto, definimos una tasa de crecimiento vehicular del 2% para la proyección de tránsito en la zona, teniendo en cuenta el TPDA de la zona en estudio.

2.6 Tránsito de Diseño.

2.6.1 Período de Diseño (N).

El periodo de diseño es el número de años que se necesita para diseñar la estructura de pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo, generalmente varía entre diez y veinte años.

Basándonos en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño geométrico de las carreteras regionales (SIECA), el período de diseño recomendado para esta vía en estudio, clasificado como colectora rural es de 10 a 20 años **(Tabla 9, Pág.16)**. Para efecto de diseño el período a utilizar en el presente proyecto es de **20 años**.

Hoy en día, se recomienda que se estudien los pavimentos para un período de comportamiento mayor, ya que ellos pueden dar lugar a una mejor evaluación de las alternativas a largo plazo.

Tabla 9: Período de Diseño (N)

Tipo de carretera	Periodo de diseño (años)
Autopista Regional	20 - 40
Troncales Sub-Urbanas	15 – 30
Troncales Rurales	
Colectoras Sub-Urbanas	10 - 20
Colectoras Rurales	

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2004.

2.6.2 Factor de Crecimiento (FC).

Factor que depende del número de años al que se proyectará el tránsito, y la tasa del incremento anual vehicular, además refleja la medida en que aumentará el flujo de vehículos en el período de diseño.

A como se indicó anteriormente la **tasa de crecimiento (i)** que se usará es del **2%** para un **periodo de diseño (n)** de **20 años**.

El factor de crecimiento (FC) está dado por la siguiente ecuación:

$$FC = 365 * \frac{(1+i)^n - 1}{i} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Dónde:

FC: Factor de crecimiento.

i: Tasa de crecimiento del tránsito (%).

n: Período de diseño (años).

365: Días del año.

Sustituyendo valores tenemos:

$i = 2.0\%$

$n = 20$ años

$$FC = 365 * \frac{(1+0.02)^{20} - 1}{0.02} = 8868.54 \approx 8869$$

2.6.3 Factor Direccional (FD).

El factor direccional está determinado por el sentido del flujo vehicular censado; generalmente su valor es de 0.5 y de 1 si estas poseen un solo sentido.

Tabla 10: Factor de Distribución por Dirección (FD)

Número de carriles en ambas direcciones	FD %
2	50
4	45
6 o mas	40

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2004.

Para la vía en estudio asignamos el valor de **50%**, considerando este valor la condición ideal para vías de 2 carriles con sentido de circulación opuesto.

2.6.4 Factor de Distribución por Carril.

Este factor se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL'S. Para un camino de dos carriles, cualquiera de los dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril.

Tabla 11: Factor de Distribución por Carril (Fc')

Número de Carriles en una sola dirección	Fc'
1	1
2	0.80 - 1.00
3	0.60 - 0.80
4	0.50 - 0.75

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2004.

Para nuestro tramo en estudio utilizamos el valor de **Fc' = 1**, ya que la vía posee un solo carril para un sentido direccional.

2.7 Determinación de Tránsito de Diseño.

Es el volumen de tránsito para un año cualquiera; siendo el número de veces que pasará el tráfico por la vía en (n) años, se utilizó la siguiente ecuación:

$$TPDA_{2039} = To_{2019} * (1+i)^n$$

Ecuación (5)

Donde:

To= Tráfico inicial en el año inicial

i= Tasa de crecimiento anual en %

n= Número de años en el periodo de diseño

Tabla 12: TPDA Proyectado para el tramo Las Cruces - El Caracol

Tipo de vehículo	TPDA ₂₀₁₉	Tasa de Crecimiento	N	TPDA proyectado 2039
Motos	146	0.02	20	217
Autos	12	0.02	20	18
Jeep	13	0.02	20	20
Camionetas	111	0.02	20	165
Mbus	5	0.02	20	7
MB>15P	2	0.02	20	3
Bus	8	0.02	20	12
C2 Liv	14	0.02	20	21
c2>5ton	11	0.02	20	17
C3	3	0.02	20	5
Total				484

Fuente: Elaboración Propia

Teniendo el tránsito proyectado, se continuó con el cálculo del tránsito de diseño para el tramo en estudio utilizando la siguiente ecuación:

$$TD = TPDA_{2019} * FC * FD * F'_c$$

Ecuación (6)

Donde:

TPDAo= Tránsito promedio diario anual del año cero

FC= Factor de Crecimiento

FD= Factor de distribución por sentido

F'c= Factor de distribución por carril

Tabla 13: Tránsito de Diseño para el tramo Las Cruces - El Caracol

Tipo de Vehículo	TPDA-2019	FC	FD	Fc'	TPDA Veh/Dia- 2039
Autos	12	8869	0.5	1	53,212
Jeep	13	8869	0.5	1	57,646
Camionetas	111	8869	0.5	1	492,204
Mbus	5	8869	0.5	1	22,172
MB>15P	2	8869	0.5	1	8,869
Bus	8	8869	0.5	1	35,475
C2 Liv.	14	8869	0.5	1	62,080
C2>5Ton	11	8869	0.5	1	48,777
C3	3	8869	0.5	1	13,303
Total					793,738

Fuente: Elaboración Propia

Se concluye que se tiene un Tránsito de Diseño de **793,738**, para un periodo de diseño de 20 años, para el tramo de carretera Las Cruces – El Caracol de 5.42 km.

CAPITULO III

ESTUDIO DE SUELO



3.1 Estudio de Suelo.

El estudio de suelos nos aporta algunos de los parámetros de diseño necesarios para la estructuración adecuada de una vía de comunicación terrestre.

El suelo es un agregado natural de partículas orgánicas e inorgánicas, que pueden ser separadas por medios comunes, tal como el mecánico (Juarez Badillo & Rico Rodriguez, 2005).

3.2 Descripción de los Suelos.

3.2.1 Granulometría.

Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas a partir de la cual se puede estimar, con mayor o menor aproximación, las demás propiedades que pudieran interesar. El análisis granulométrico de un suelo tiene por finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño.

3.2.2 Plasticidad.

Es la propiedad de estabilidad que representan los suelos hasta cierto límite de humedad sin disgregarse, por tanto, la plasticidad de un suelo depende, no de los elementos gruesos que contiene, sino únicamente de sus elementos finos. El índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bastante bien un suelo.

3.2.2.1 Propiedades de La Plasticidad.

Límite Líquido (LL): es cuando un suelo pasa de un estado semilíquido a un estado plástico, y puede moldearse.

Límite Plástico (LP): es cuando un suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido.

Índice Plástico (IP): es la diferencia entre el límite plástico y el límite líquido.

Humedad Natural: Otra característica importante de los suelos es su humedad natural; puesto que la resistencia de los suelos de subrasante, en especial de los finos, se encuentra directamente asociada con las condiciones de humedad y densidad que estos suelos presenten (MTC, 2013).

3.3 Clasificación de los Suelos.

Se clasifican según su granulometría en: arena (arena gruesa y arena fina), grava, limos y arcillas (Juarez Badillo & Rico Rodriguez, 2005).

3.4 Análisis de Datos.

En este estudio se plasman los análisis y los resultados de las exploraciones de campo con la ejecución de sondeos realizados a lo largo del tramo de 5.42 Km desde Las Cruces hasta El Caracol y bancos aledaños al proyecto, con el propósito de obtener la información necesaria para evaluar las características de los materiales a través de su debida clasificación, análisis granulométrico y pruebas de California Bearing (CBR).

3.5 Trabajo de Campo.

Según los estudios y resultados proporcionados, los trabajos de campo consistieron en la ejecución de 23 sondeos manuales, con una profundidad de 1.50 m distribuidos a lo largo del camino investigado, con una separación entre sondeos de 250 m aproximadamente.

3.6 Trabajos de Laboratorio.

Las muestras recuperadas de los sondeos manuales realizados a lo largo del tramo, se compararon por medio de vista y tacto en el laboratorio, de esta comparación se obtuvieron las muestras a ensayar.

Las muestras obtenidas en los sondeos realizados se sometieron a los siguientes ensayos de laboratorio, de acuerdo a las Normas ASTM D-3282.

Tabla 14: Ensayes de Laboratorio Realizados

TIPO DE ENSAYE	DESIGNACIÓN	
	ASTM	AASHTO
Análisis granulométrico de los sondeos.	D-422	T- 88
Límites líquidos de los suelos.	D-423	T- 89
Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.	D-424	T-90
C.B.R.	D-1883	T- 193

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura, MTI.

En base a los resultados obtenidos las muestras se clasificaron de acuerdo al sistema H.R.B. (ASTM D-3282).

3.7 Resultados obtenidos.

3.7.1 Sondeos de Línea.

De acuerdo a los resultados obtenidos por el laboratorio los materiales predominantes a lo largo del tramo del camino en estudio, son arena y gravas limosas, que se clasifican, en el sistema H.R.B de la AASHTO 93, como: A-2-4, A-1-b y A-1-a, encontrándose en algunos sectores estratos de suelos limosos A-4; gravas y arenas arcillosas tipo A-2-6 y A-2-7, así como, suelos arcillosos A-6, A-7-5 y A-7-6. **(Ver Anexo, Tabla 49, Pág. IV)**

El índice de grupo (IG) de los suelos predominantes es de “O” para los A-2-4, A-1-b y A-1-a; de 0 a 8 ,para los A-4; de 0 a 2 para los A-2-6 y A-2-7; de 1 a 10 para los A-6; de 2 a 20 para los A-7-5 y A-7-6; lo que es indicativo de una calidad que va de regular a buena para cimentación de terraplenes o estructuras de pavimento.

Los materiales granulares, corresponden a la capa superficial de revestimiento existente en toda la longitud del camino, el cual es de material que actualmente se encuentra contaminado; así como las capas intermedias de relleno que en muchos casos abarcan toda la profundidad de exploración, lo cual indica material contaminado en la parte superficial.

El ancho de rodamiento existente es variable y tiene un promedio de 5.30m. El camino tiene un revestimiento formado por materiales gravo – areno - limosos, susceptibles de mejorar fácilmente.

En las siguientes tablas se muestran en resumen las características de las diferentes muestras de materiales encontrados a lo largo de los 5.42km.

Tabla 15: Resumen de Sondeos Realizados (Sondeo 1 – Sondeo 6)

SONDEOS DEL TRAMO LAS CRUCES - EL CARACOL												
Sondeo N°	Muestra N°	Profundidad (cm)	% Que Pasa Tamiz				L.L	I.P	C.B.R. a Compactación			Clasificación
			No.4	No.10	No.40	No.200	%	%	90	95	100	AASHTO
Sondeo N° 1; Estación 0+000, banda derecha												
Sondeo 1	1	0 - 10	35	29	22	17	28	10	17	25	32	A - 2 - 4(0)
	2	10 - 25	59	47	35	29	33	15	5	8	11	A - 2 - 6(1)
	3	25 - 150	63	57	46	40	59	26	4	7	10	A - 7 - 5(6)
Sondeo N° 2; Estación 0+250, banda izquierda												
Sondeo 2	1	0 - 10	35	29	22	17	28	10	-	-	-	A - 2 - 4(0)
	2	10 - 25	59	47	35	29	33	15	-	-	-	A - 2 - 6(1)
	3	25 - 150	63	44	29	25	44	12	-	-	-	A - 2 - 4(0)
Sondeo N° 3; Estación 0+500, banda derecha												
Sondeo 3	1	0 - 8	28	23	17	13	24	6	-	-	-	A - 1 - a(0)
	2	8 - 18	64	51	34	28	32	12	-	-	-	A - 2 - 6(0)
	3	18 - 27	63	51	35	30	26	7	-	-	-	A - 2 - 4(0)
	4	27 - 55	64	51	34	28	32	12	-	-	-	A - 2 - 6(0)
	5	55 - 105	60	50	33	24	36	10	-	-	-	A - 2 - 4(0)
	6	105 - 150	66	56	43	37	38	11	-	-	-	A - 6(0)
Sondeo N° 4; Estación 0+750, banda izquierda												
Sondeo 4	1	0 - 10	64	51	34	28	32	12	-	-	-	A - 2 - 6(0)
	2	10 - 80	28	19	10	8	35	11	-	-	-	A - 2 - 6(0)
	3	80 - +	Cascajo Duro (Esquisto)				-	-	-	-	-	-
Sondeo N° 5; Estación 1+000, banda derecha												
Sondeo 5	1	0 - 8	40	30	20	15	29	8	-	-	-	A - 2 - 6(0)
	2	8 - 25	53	39	27	21	34	12	-	-	-	A - 2 - 6(0)
	3	25 - 150	67	51	34	27	33	11	-	-	-	A - 2 - 6(0)
Sondeo N° 6; Estación 1+250, banda derecha												
Sondeo 6	1	0 - 7	62	48	35	22	22	3	-	-	-	A - 2 - 6(0)
	2	7 - 50	34	27	14	10	31	5	-	-	-	A - 2 - 6(0)
	3	50 - +	Cascajo Duro (Esquisto)				-	-	-	-	-	-

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura – Alcaldía Municipal Quilalí Nueva Segovia.

Tabla 16: Resumen de Sondeos Realizados (Sondeo 7 - Sondeo 12)

SONDEOS DEL TRAMO LAS CRUCES - EL CARACOL												
Sondeo N°	Muestra N°	Profundidad (cm)	% Que Pasa Tamiz				L.L	I.P	C.B.R. a Compactación			Clasificación
			No.4	No.10	No.40	No.200	%	%	90	95	100	AASHTO
Sondeo N° 7; Estación 1+500, banda izquierda												
Sondeo 7	1	0 - 8	62	48	35	22	22	3	-	-	-	A - 1 - b(0)
	2	8 - 50	69	57	37	32	35	11	-	-	-	A - 2 - 6(0)
	3	50 - 85	94	83	66	60	45	17	-	-	-	A - 7 - 6(9)
	4	85 - 150	52	41	26	21	38	12	-	-	-	A - 2 - 6(0)
Sondeo N° 8; Estación 1+750, banda derecha												
Sondeo 8	1	0 - 7	48	41	31	26	33	9	-	-	-	A - 2 - 4(0)
	2	7 - 75	70	54	37	30	38	15	-	-	-	A - 2 - 6(1)
	3	75 - 95	94	83	66	60	45	17	-	-	-	A - 7 - 6(9)
	4	95 - 150	77	67	50	42	41	13	-	-	-	A - 7 - 6(2)
Sondeo N° 9, Estación 2+000, banda izquierda												
Sondeo 9	1	0 - 16	48	41	31	26	33	9	2	7	12	A - 2 - 4(0)
	2	16 - 85	69	57	37	32	35	11	6	9	12	A - 2 - 6(0)
	3	85 - 150	72	54	37	31	37	12	4	7	10	A - 2 - 6(0)
Sondeo N° 10; Estación 2+250, banda derecha												
Sondeo 10	1	0 - 8	69	57	38	28	37	10	-	-	-	A - 2 - 4(0)
	2	8 - 100	69	57	37	32	35	11	-	-	-	A - 2 - 6(0)
	3	100 - 150	94	83	66	60	45	17	-	-	-	A - 7 - 6(9)
Sondeo N° 11; Estación 2+500, banda izquierda												
Sondeo 11	1	0 - 7	66	54	37	28	24	6	-	-	-	A - 2 - 4(0)
	2	7 - 70	52	41	27	23	34	9	-	-	-	A - 2 - 4(0)
	3	70 - 150	69	57	37	32	35	11	-	-	-	A - 2 - 6(0)
Sondeo N° 12; Estación 2+750, banda derecha												
Sondeo 12	1	0 - 8	62	48	35	22	22	3	-	-	-	A - 1 - b(0)
	2	8 - 120	69	57	37	32	35	11	-	-	-	A - 2 - 6(0)
	3	120 - 150	70	54	37	30	38	15	-	-	-	A - 2 - 6(1)

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura – Alcaldía Municipal Quilalí Nueva Segovia.

Tabla 17: Resumen de Sondeos Realizados (Sondeo 13 - Sondeo 18)

SONDEOS DEL TRAMO LAS CRUCES - EL CARACOL												
Sondeo N°	Muestra N°	Profundidad (cm)	% Que Pasa Tamiz				L.L	I.P	C.B.R. a Compactación			Clasificación
			No.4	No.10	No.40	No.200	%	%	90	95	100	AASHTO
Sondeo N° 13; Estación 3+000, banda izquierda												
Sondeo 13	1	0 - 50	69	57	38	28	37	10	-	-	-	A - 2 - 4(0)
	2	50 - 85	84	71	54	46	54	23	-	-	-	A - 7 - 5(7)
	3	85 - 150	70	545	37	30	38	15	-	-	-	A - 2 - 6(1)
Sondeo N° 14; Estación 3+250, banda izquierda												
Sondeo 14	1	0 - 50	94	87	70	60	46	14	-	-	-	A - 7 - 5(8)
	2	50 - 70	62	55	43	35	38	11	-	-	-	A - 2 - 6(0)
	3	70 - 150	100	98	96	90	38	11	-	-	-	A - 6(8)
Sondeo N° 15; Estación 3+500, banda derecha												
Sondeo 15	1	0 - 15	66	56	39	29	26	6	-	-	-	A - 2 - 4(0)
	2	15 - 45	73	66	48	37	29	9	-	-	-	A - 4(0)
	3	45 - 65	79	65	40	30	29	6	-	-	-	A - 2 - 4(0)
	4	65 - 150	52	43	27	22	35	11	-	-	-	A - 2 - 6(0)
Sondeo N° 16; Estación 3+750, banda izquierda												
Sondeo 16	1	0 - 5	48	36	20	13	26	7	-	-	-	A - 2 - 4(0)
	2	5 - 35	51	34	15	10	27	7	-	-	-	A - 2 - 4(0)
	3	35 - 60	94	87	70	60	46	14	-	-	-	A - 7 - 5(8)
	4	60 - 150	79	65	40	30	29	6	-	-	-	A - 2 - 4(0)
Sondeo N° 17; Estación 4+000, banda derecha												
Sondeo 17	1	0 - 8	48	36	20	13	26	7	5	7	10	A - 2 - 4(0)
	2	8 - 50	36	27	14	9	33	10	2	4	6	A - 2 - 4(0)
	3	50 - +	Cascajo Duro (Esquisto)				-	-	-	-	-	-
Sondeo N° 18; Estación 4+250, banda izquierda												
Sondeo 18	1	0 - 10	48	36	20	13	26	7	-	-	-	A - 2 - 4(0)
	2	10 - 60	51	34	15	10	27	7	-	-	-	A - 2 - 4(0)
	3	60 - 150	36	22	10	6	33	7	-	-	-	A - 2 - 4(0)

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura – Alcaldía Municipal Quilalí Nueva Segovia.

Tabla 18: Resumen de Sondeos Realizados (Sondeo 19 - Sondeo 23)

SONDEOS DEL TRAMO LAS CRUCES - EL CARACOL												
Sondeo N°	Muestra N°	Profundidad (cm)	% Que Pasa Tamiz				L.L	I.P	C.B.R. a Compactación			Clasificación
			No.4	No.10	No.40	No.200	%	%	90	95	100	AASHTO
Sondeo N° 19; Estación 4+500, banda derecha												
Sondeo 19	1	0 - 20	60	47	28	19	31	9	-	-	-	A - 2 - 4(0)
	2	20 - 150	52	42	24	15	36	12	-	-	-	A - 2 - 6(0)
Sondeo N° 20; Estación 4+750, banda izquierda												
Sondeo 20	1	0 - 20	76	61	43	31	32	11	-	-	-	A - 2 - 6(0)
	2	20 - 150	74	62	39	26	30	10	-	-	-	A - 2 - 4(0)
Sondeo N° 21; Estación 5+000, banda derecha												
Sondeo 21	1	0 - 70	36	22	10	5	33	7	-	-	-	A - 2 - 4(0)
	2	70 - 120	71	60	42	31	44	15	-	-	-	A - 2 - 7(1)
	3	120 - 150	71	57	39	28	34	16	-	-	-	A - 2 - 6(1)
Sondeo N° 22; Estación 5+250, banda derecha												
Sondeo 22	1	0 - 10	71	55	36	25	30	12	-	-	-	A - 2 - 6(0)
	2	10 - 30	61	47	31	21	34	11	-	-	-	A - 2 - 6(0)
	3	30 - 100	34	25	14	9	31	10	-	-	-	A - 2 - 4(0)
	4	100 - 150	78	68	51	41	41	15	-	-	-	A - 7 - 6(3)
Sondeo N° 23; Estación 5+500, banda izquierda												
Sondeo 23	1	0 - 7	71	55	36	25	30	12	6	15	25	A - 2 - 6(0)
	2	7 - 30	73	66	48	37	29	9	12	18	24	A - 4(0)
	3	30 - 150	78	68	51	41	41	15	9	13	21	A - 7 - 6(2)

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura – Alcaldía Municipal Quilalí Nueva Segovia.

3.7.2 Ensayo CBR.

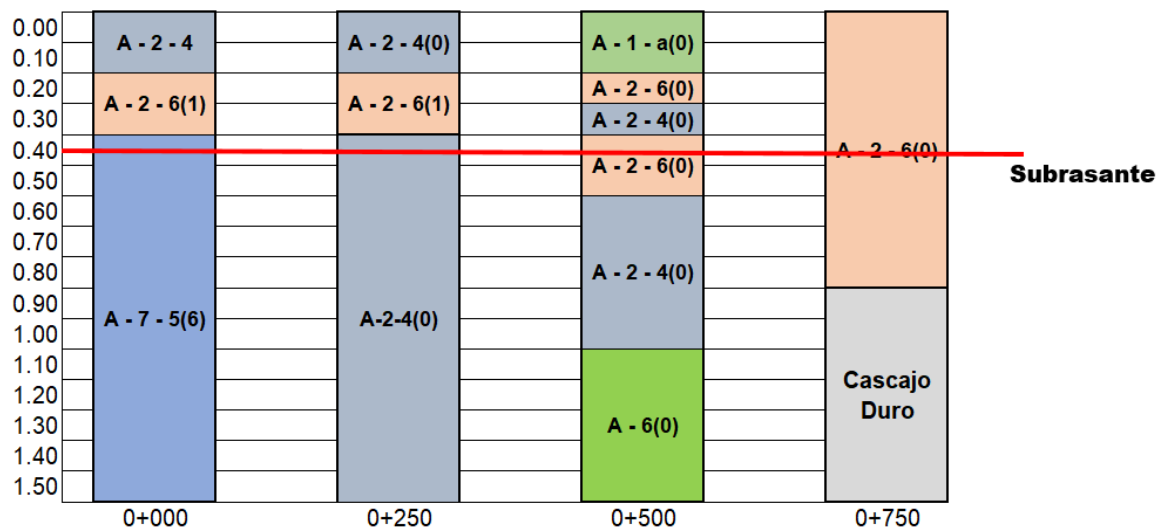
El Ensayo de Relación de Soporte de California es el que mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y sirve para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, subbase y base de pavimentos. Se efectúa bajo las condiciones controladas de humedad y densidad, y está normado por la ASTM-D1883 y por la AASHTO T-1993.

Cabe mencionar que los estudios de CBR se realizaron a una distancia de 2km, comenzando en la estación inicial del tramo, en la estación 0+000 y finalizando en la estación final del tramo en la estación 5+420. En las tablas anteriormente mencionadas (**Tabla 15 hasta Tabla 18**) se encuentran los resultados obtenidos.

3.7.3 Estratigrafía del Suelo.

Finalmente se realizaron las columnas estratigráficas para detallar los tipos de suelos en el tramo en estudio y su profundidad, esto en base al trabajo de campo y los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio suministrados por la Alcaldía Municipal de Quilalí Nueva Segovia y el Ministerio de Transporte e Infraestructura.

Gráfico 1: Columnas Estratigráficas (Est. 0+000 a 0+750)



Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 3: Columnas Estratigráficas (Est. 1+000 a 1+750)

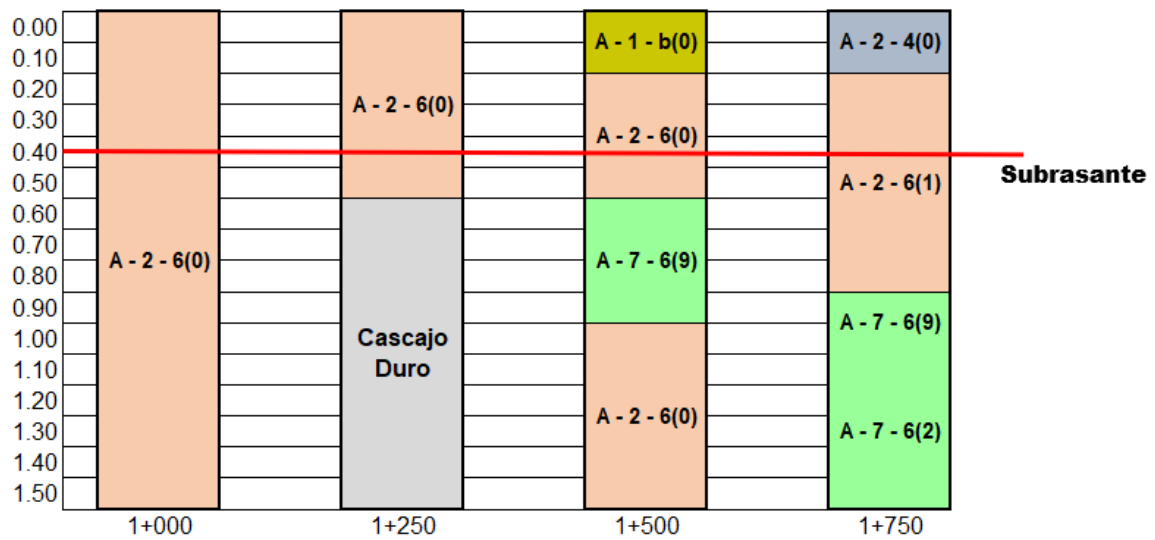


Gráfico 2: Columnas Estratigráficas (Est. 2+000 a 2+750)

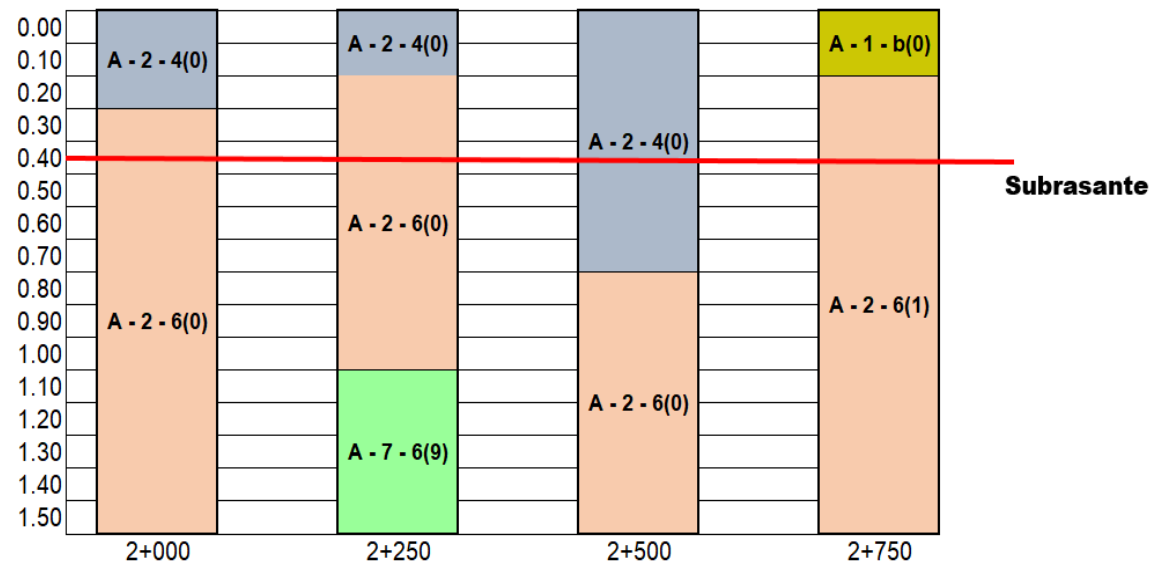


Gráfico 5: Columnas Estratigráficas (Est. 3+000 a 3+750)

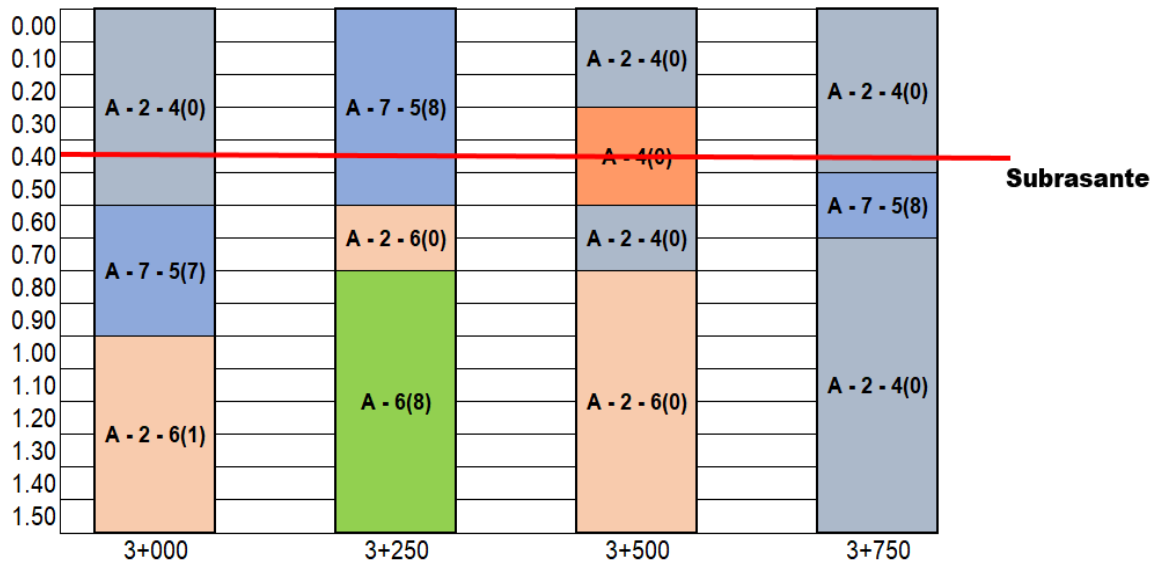


Gráfico 4: Columnas Estratigráficas (Est. 4+000 a 4+750)

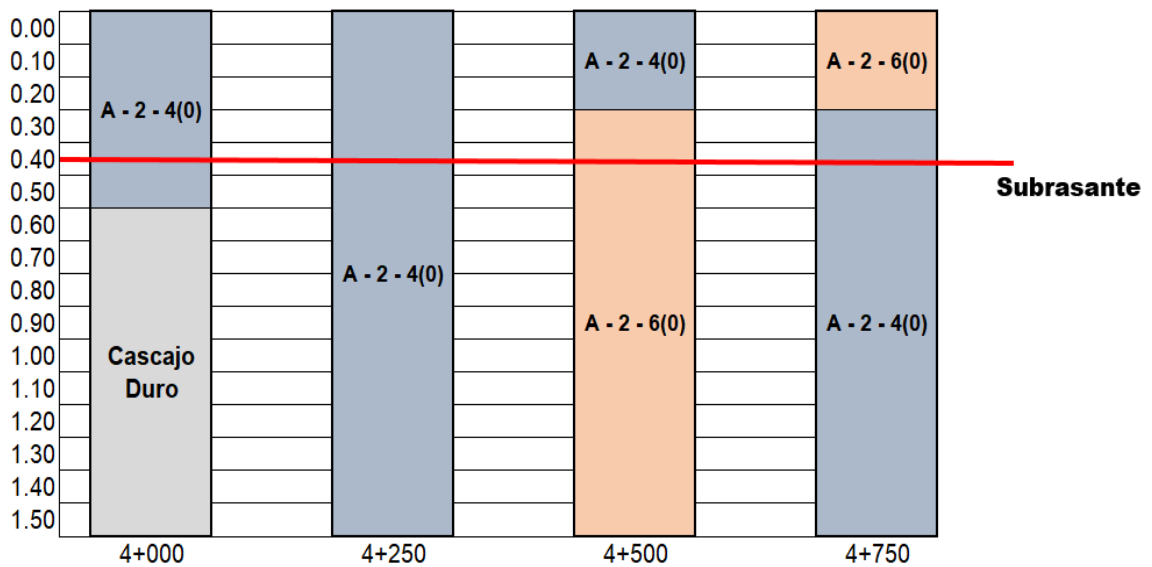
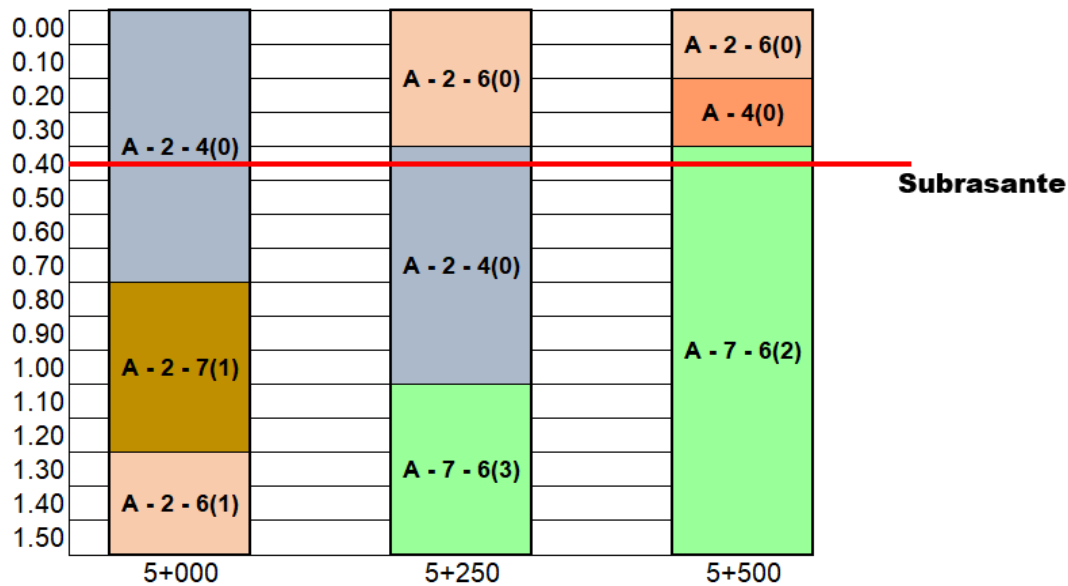


Gráfico 6: Columnas Estratigráficas (Est. 5+000 a 5+500)



Fuente: Elaboración Propia.

La superficie de rodamiento actual está compuesta por suelos A-2-4 y A-2-6, los que resultaron contaminados con material orgánico; por tal razón se propone establecer la subrasante de 40 cm por debajo de dicho suelo.

3.7.4 Fuentes de Materiales.

La obtención de materiales es una actividad que se realiza como parte de la búsqueda de obtener costos menores en la construcción de las vías disminuyendo en todo lo posible la longitud de acarreo del material de préstamo.

En la siguiente tabla (**Tabla 19, Pág. 33**) se presenta el resumen de 3 bancos de materiales con sus características, a fin de determinar su calidad para el uso en la construcción de la vía.

Tabla 19: Resultados de Bancos de Materiales

Banco N°	Dueño	Granulometría								Límites		Clas. AASHTO	P.V.S Máx.(Kg)	Húmedad	CBR %		
		1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200	LL	LP				90%	95%	100%
N° 1	Tomás Pinel Ruiz	100	99	90	63	42	28	14	8	11	4	A-2-4	2155	8.1	55	82.4	90.2

Banco N°	Dueño	Granulometría								Límites		Clas. AASHTO	P.V.S Máx.(Kg)	Húmedad	CBR %		
		1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200	LL	LP				90%	95%	100%
N° 2	Samuel Lanzas	100	88	71	43	28	18	9	6	21	9	A-2-4	2154	8.6	36	41	59

Banco N°	Dueño	Granulometría								P.V.S	
		3/8"	4	8	16	30	50	100	200	Máx.(Kg/m3)	
N° 3	Río Quilalí	96	86	70	44	15	5	3	2	1706	

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura – Alcaldía Municipal Quilalí Nueva Segovia.

3.7.4.1 Análisis de Bancos de Préstamos.

Según la normativa de la NIC 2000, el material para base debe cumplir con las siguientes especificaciones:

Tabla 20: Especificaciones para Base Granular

Propiedad	Especificación	Metodología
Límite Líquido	25% máx.	AASHTO-89
Índice Plástico	10% máx.	AAHSTO-90
CBR	80% min.	AAHSTO-93
Desgaste de los Ángeles	50% máx.	AASHTO-96
Intemperismo Acelerado	12% máx.	AASHTO-104
Compactación	95% Próctor Modificado	AASHTO-191

Fuente: Especificaciones NIC-2000 sección 1003. 09 (a y b), 1003.23. II (b).

En base a la **Tabla 20 (Especificaciones para Base Granular)**, el banco de material **Tomás Pinel Ruiz** se puede usar como material para la capa base ya que tiene un CBR del **82.4%**, el cual es mayor al requerido por la NIC – 2000.

El material para subbase deberá ser seleccionado y deberá de cumplir con los requerimientos establecidos por la NIC – 2000, los cuales son los siguientes:

Tabla 21: Especificaciones para Subbase Granular

Propiedad	Especificación	Metodología
Limite Líquido	25% máx.	AASHTO-89
Índice Plástico	10% máx.	AAHSTO-90
CBR	40% min.	AAHSTO-93
Desgaste de los Ángeles	50% máx.	AASHTO-96
Intemperismo Acelerado	12% máx.	AASHTO-104
Compactación	95% min del peso volumétrico seco máx. Proctor Modificado	AASHTO-191

Fuente: Especificaciones NIC-2000 sección 1003. 09 (a y b), 1003.23. II (b).

De acuerdo con las especificaciones propuestas por la NIC – 2000, tenemos que el banco de material **Samuel Lanzas** cuenta con los requerimientos para suplir como material de subbase ya que contiene un CBR del **41%**, el cual es mayor a 40% que es el valor mínimo requerido.

El Banco de Material **Rio coco** se utilizará solamente para el lecho de arena para el adoquín.

3.8 CBR de Diseño.

El Ensayo CBR (California Bearing Ratio) es el que mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) en suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas.

La Subrasante es la capa de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no sea afectada por las cargas de diseño que corresponde al tránsito previsto. En nuestro caso se tomó una profundidad subrasante de **40 cm** para el diseño del CBR; aplicando los criterios del Instituto del Asfalto, se determina el CBR de Subrasante.

A continuación, se presentan los datos utilizados para determinar el CBR de Diseño.

Tabla 22: Criterio Instituto de Asfalto para Diseño de CBR

Cargas Equivalentes Totales (ESAL's)	Percentil de Diseño (%)
< de 10,000 ESAL's	60
Entre 10,000 y 1,000,000 ESAL's	75
> de 1,000,000 ESAL's	87.5

Fuente: Instituto de Asfalto, 1991.

Se tomó un percentil del **75%** para el diseño del CBR, dado que el ESAL's es de **303,744**, como se presenta en la **Tabla 42, pág. 91**.

En la siguiente tabla (**Tabla 23**), se muestran los valores utilizados para el cálculo de CBR de diseño.

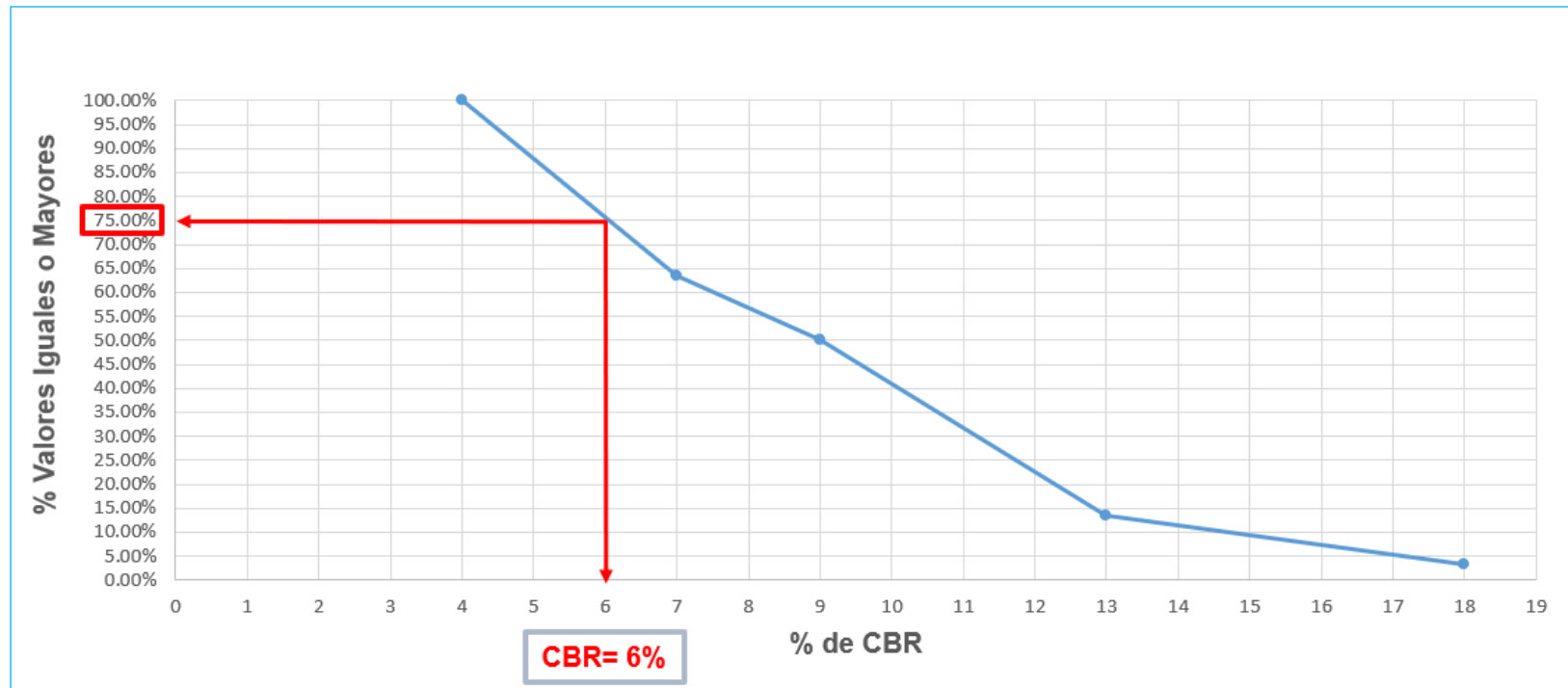
Tabla 23: Valores para Determinar CBR de Diseño

Clasificación	CBR	Frecuencia	Cantidad de Valores Iguales o Mayores	%
AASHTO	95%			
A-2-4	4	11	30	100.00%
A-7-5	7	4	19	63.33%
A-2-6	9	11	15	50.00%
A-7-6	13	3	4	13.33%
A-4	18	1	1	3.33%
		30		

Fuente: Elaboración Propia.

La frecuencia es la cantidad de repeticiones de un suelo que existe por debajo de la subrasante propuesta, por lo tanto, se concluye que se tiene un CBR de diseño del **6%**, esto analizando los suelos que se encuentran por debajo de la subrasante propuesta, con el fin de estudiar las propiedades de los suelos y su soporte a las cargas que actuaran sobre él.

Gráfico 7: CBR de Diseño.



Fuente: Elaboración Propia.

CAPITULO IV

ESTUDIO TOPOGRAFICO



4.1 Estudio Topográfico.

Es el trabajo mediante los cuales se determinan las posiciones de los diferentes rasgos naturales (configuración) del terreno, así como de detalles o puntos de interés hechos por el hombre, todos éstos sobre la superficie terrestre.

La Topografía cuenta con diferentes especialidades, entre las que podemos mencionar:

Planimetría: Consiste en proyectar sobre un plano horizontal los elementos de la poligonal sin considerar su diferencia de elevación.

Altimetría: Estudia las diferencias de elevación de los puntos sobre la superficie terrestre, dando su posición relativa o absoluta, proyectado sobre un plano vertical y referida a un plano de comparación cualquiera o a una superficie de comparación como el nivel medio del mar.

Planialtimetría: Estudia los métodos y procedimientos de medición y representación gráfica de los elementos que componen las cadenas planimétricas y altimétrica simultáneamente.

Curva de Nivel: es una línea que une puntos con la misma elevación. La traza de la intersección de una superficie de nivel con el terreno, sería representada en un plano como una curva de nivel (R. Wirshing & H. Wirshing, 1987).

4.2 Trabajo de Campo.

Para el estudio topográfico se realizó un levantamiento de datos altimétricos y planimétricos, iniciando el levantamiento referenciándose con un GPS manual donde se medirá el eje del camino a cada 20m y la sección transversal hasta el derecho de vía, el cual varía entre 12 y 20m, referenciando los PI de curvas que resultaran del levantamiento.

4.2.1 Establecimiento de puntos Geo – Referenciados.

En lugares convenientes se colocaron mojones que permitieron el replanteo del polígono, éstos se colocaron antes del inicio de las mediciones. Los mojones consistieron en un cilindro de concreto simple de 0.10 m de diámetro y 0.80 m de largo.

Se colocaron 6 mojones en lo que comprende desde el inicio del tramo hasta el final del mismo, Se pueden observar en las siguientes imágenes:



El primer mojón se colocó en el inicio del tramo, en la estación 0+000, la cual se ubica en la comunidad Las Cruces.

(Imagen tomada de Google Earth, 2018 Google).



El segundo mojón se colocó a una distancia de 1.1km del inicio del tramo, exactamente en la estación 1+100, la cual se ubica en la comunidad Plan Grande. (Imagen tomada de Google Earth, 2018 Google).



El tercer mojón se colocó a 1.1km de la comunidad Plan Grande y 2.2km del inicio del tramo.

(Imagen tomada de Google Earth, 2018 Google).



El cuarto mojón se colocó en la estación 3+300, a 2.2km de la comunidad Plan Grande, y 3.3km desde el inicio del tramo.

(Imagen tomada de Google Earth, 2018 Google).



El quinto mojón se colocó en la estación 4+400, a 3.3km de la comunidad Plan Grande.

(Imagen tomada de Google Earth, 2018 Google).



El sexto mojón se colocó en la última estación del tramo en estudio, en la estación 5+420.

(Imagen tomada de Google Earth, 2018 Google).

4.2.2 Establecimiento de Puntos de Línea Base.

Para el establecimiento de puntos de línea base se procedió a localizar los sitios más adecuados para la localización de los mojones y se establecieron una serie de criterios para la instalación que conformarían los Puntos de Línea Base (PLB):

- Distancia Máxima entre punto y punto es de 1.1 km.
- Garantizar su visualización.
- La instalación en sitios seguros que no estén expuestos a ser destruidos.
- Referenciados y rotulados en objetos fijos dentro del área en estudio, y visibilidad entre puntos.

La línea base fue establecida utilizando una estación total marca Leica TS06. En total se establecieron 6 mojones, con una distancia entre mojones de 1.1km, solo

el último mojón que se encuentra en la estación 5+420 está ubicado a 1.02km desde el mojón anterior (numerados del 1 al 6 en el levantamiento de campo).

4.2.3 Elección del Método.

El procedimiento utilizado para el levantamiento fue el método de perfil longitudinal y secciones transversales ya que es uno de los métodos más adecuados para proyectos de carretera.

4.2.4 Planimetría.

4.2.4.1 Alineamiento Horizontal.

Para el alineamiento horizontal del eje longitudinal se realizó el levantamiento como una poligonal abierta, utilizando el método de ángulo de derecha.

Los cambios de ángulos se hicieron generalmente a cada 20 m en las rectas, aunque en los casos donde la visual lo permitía se hicieron a 40 y hasta 60 m y a cada 10 en las curvas. Estos puntos fueron debidamente referenciados por el método de triangulación.

El alineamiento se comenzó en el estacionamiento **0+000**, en la comunidad Las Cruces y finaliza en el estacionamiento **5+420**, en la comunidad el caracol. Las coordenadas son:

Las coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator) son:

Estación 0+000 (Po): El inicio de la carretera se encuentra en las siguientes coordenadas.

Coordenadas Cartográficas (UTM): **X** =599,276.158 **Y** =1,503,130.839 **Z**= 874.0976

Estación 5+420 (PF): El Fin de la carretera se encuentra en las siguientes coordenadas.

Coordenadas Cartográficas (UTM): **X** =597,477.513 **Y** =1,507,869.667 **Z**= 667.247

4.2.4.2 Eje de la Carretera.

El eje de la carretera se detalla en la vista en planta del proyecto horizontal que se encuentra en los planos. Este eje está compuesto por alineamientos horizontales rectos, enlazados por alineamientos horizontales curvos. Este eje, se encuentra seccionado partiendo del punto inicial de carretera (Po) cada 100 metros hasta llegar al punto final de carretera (PF).

Se estableció la forma dimensional del terreno, lo cual se logró levantando una poligonal abierta a lo largo del eje central de la carretera (en una vía se refiere a la línea que separa los sentidos de circulación). Se debió brindar la localización topográfica o detalles de interés, tales como: Tendido eléctrico, tendido telefónico, drenaje de aguas servidas o pluviales, red de agua potable, pozos de visita y tragantes de agua pluvial existente, localización de derecho de vía, Mojones, BMs, puntos de referencia (arboles de gran tamaño, arroyos, cauces, etc.), vías de acceso y construcciones existentes.

4.2.4.3 Perfil Longitudinal.

El perfil longitudinal es la proyección del eje real de la vía sobre una superficie vertical paralela a la misma, debido a este paralelismo, dicha proyección mostrará la longitud real del eje de la vía, a este eje también se lo denomina rasante, aquí se detallan los alineamientos verticales, su gradiente longitudinal, así como las curvas verticales con sus parámetros más importantes y cotas respectivas.

En la **Tabla 24, pág. 43, 44** se presentan los resultados del levantamiento topográfico para el proyecto en análisis.

Tabla 24: Levantamiento Topográfico del Tramo en Estudio

Tramo:		Las Cruces - El Caracol			
Ubicación del Tramo:		Municipio de Quilali - Nueva Segovia			
Coordenada Inicial:		X= 599276.158	Y= 1503130.839	Z=874.097	
Coordenada Final:		X= 597477.51	Y= 1507869.7	Z=667.247	
Longitud del Tramo:		5.42 Kilometros			
Estación	Longitud (metros)	Punto	Coordenadas UTM		
			Y	X	Z
0+000		1	1503130.839	599276.158	874.097
0+100	100	2	1503223.316	599243.566	861.342
0+200	100	3	1503313.851	599224.328	849.003
0+300	100	4	1503393.509	599172.574	835.606
0+400	100	5	1503469.57	599134.046	824.952
0+500	100	6	1503522.66	599050.761	814.017
0+600	100	7	1503592.353	598979.062	815.98
0+700	100	8	1503673.285	598920.441	822.457
0+800	100	9	1503761.174	598873.102	822.757
0+900	100	10	1503855.863	598841.615	829.659
1+000	100	11	1503908.466	598758.807	839.008
1+100	100	12	1504000.435	598726.589	839.838
1+200	100	13	1504069.081	598658.62	834.308
1+300	100	14	1504163.487	598628.924	825.423
1+400	100	15	1504254.698	598588.14	822.782
1+500	100	16	1504347.881	598551.85	815.15
1+600	100	17	1504442.844	598522.708	807.803
1+700	100	18	1504542.836	598521.442	805.733
1+800	100	19	1504642.525	598514.745	805.31
1+900	100	20	1504741.747	598502.301	801.466
2+000	100	21	1504823.161	598449.007	801.652
2+100	100	22	1504895.539	598380.147	798.222
2+200	100	23	1504962.643	598306.503	793.536
2+300	100	24	1505030.479	598234.754	789.641
2+400	100	25	1505119.346	598188.901	787.391
2+500	100	26	1505214.784	598159.879	784.504
2+600	100	27	1505252.587	598070.834	781.922
2+700	100	28	1505307.012	597989.146	771.568

Fuente: Elaboración propia.

Estación	Longitud (metros)	Punto	Coordenadas UTM		
			Y	X	Z
2+800	100	29	1505393.6	597939.21	762.287
2+900	100	30	1505492	597927.04	758.268
3+000	100	31	1505583.7	597888	754.163
3+100	100	32	1505677.8	597868.63	748.381
3+200	100	33	1505741.9	597941.71	738.332
3+300	100	34	1505837.6	597958.05	727.299
3+400	100	35	1505910	597890.66	718.257
3+500	100	36	1505998.3	597843.58	708.762
3+600	100	37	1506097.5	597836.86	702.577
3+700	100	38	1506197.2	597829.85	699.315
3+800	100	39	1506295.8	597814.5	694.016
3+900	100	40	1506369.2	597748.18	690.267
4+000	100	41	1506452.8	597693.74	689.316
4+100	100	42	1506505.6	597616.6	689.842
4+200	100	43	1506602.4	597629.5	697.767
4+300	100	44	1506701.8	597630.59	700.672
4+400	100	45	1506796.4	597603.14	704.706
4+500	100	46	1506891.2	597634.92	705.745
4+600	100	47	1506990.1	597640.09	705.754
4+700	100	48	1507080.4	597599.34	701.672
4+800	100	49	1507175.9	597578.78	696.546
4+900	100	50	1507273.5	597560.97	694.504
5+000	100	51	1507372.9	597558.99	689.824
5+100	100	52	1507472.7	597564.03	684.41
5+200	100	53	1507572.2	597562.49	679.092
5+300	100	54	1507659.1	597513.8	675.147
5+400	100	55	1507746	597466.7	671.567
5+420	20	56	1507869.7	597477.51	667.247

Fuente: Elaboración propia.

El estacionamiento **5+420 punto 56** del levantamiento topográfico es el último punto del tramo en estudio, concluyendo con 5.42 km, ubicado en las siguientes coordenadas UTM: **X= 597477.51, Y= 1507869.7.**

4.2.4.4 Curvas Horizontales

En el tramo en estudio la curva de mayor importancia está ubicada entre las estaciones **4+126.97(Po)** y **4+185.03(Pf)** con una longitud de **58.06mts.**

4.2.5 Altimetría.

4.2.5.1 Establecimiento de BMs.

Este proceso se llevó a cabo a partir de una nivelación diferencial con nivel de precisión, en circuitos cerrados de ida y regreso, entre uno y otro PLB, para efectos del aspecto altimétrico, estos puntos se denominan como BM'S. Se utilizó como punto de partida la elevación ortogonal establecida en el primer punto de control base (PCB) que previamente habían sido Geo-referenciado.

Tabla 25: Ubicación de BMs

BM	EST	Coordenadas UTM		
		Norte	Este	Elevacion
1	0+050	1,503,131.21	599,287.50	875.6
2	0+150	1,503,228.91	599,236.16	859.9
3	0+220	1,503,294.11	599,250.55	854.9
4	0+330	1,503,367.07	599,170.18	837.8
5	0+400	1,503,440.08	599,181.60	831.1
6	0+590	1,503,537.02	599,023.99	810.3
7	0+730	1,503,663.63	598,916.44	825.1
8	0+980	1,503,876.25	598,831.16	831.86
9	1+050	1,503,916.69	598,742.58	842.695
10	1+120	1,504,010.24	598,726.98	840.651
11	1+250	1,504,074.76	598,659.22	833.353
12	1+320	1,504,136.85	598,632.11	827.568
13	1+440	1,504,248.07	598,595.40	822.833
14	1+570	1,504,356.31	598,538.66	814.427
15	1+720	1,504,523.55	598,522.16	806.536
16	2+000	1,504,781.05	598,495.08	801.501
17	2+090	1,504,836.09	598,426.07	801.843
18	2+200	1,504,941.62	598,343.21	796.144
19	2+300	1,504,995.22	598,254.54	790.922
20	2+410	1,505,081.94	598,202.61	788.022
21	2+640	1,505,242.77	598,087.70	784.349
22	2+730	1,505,292.40	597,991.61	773.775
23	2+850	1,505,389.24	597,937.36	761.941
24	2+990	1,505,532.70	597,920.55	757.369
25	3+100	1,505,621.62	597,860.25	752.185
26	3+170	1,505,695.99	597,872.80	747.227
27	3+250	1,505,733.43	597,942.68	739.601
28	3+370	1,505,848.26	597,958.27	725.715
29	3+430	1,505,902.61	597,889.24	719.403

Fuente: Elaboración Propia.

BM	EST	Coordenadas UTM		
		Norte	Este	Elevacion
30	3+480	1,505,982.224 1	597,844.40	709.7
31	3+530	1,506,216.17	597,820.46	698.9
32	3+780	1,506,357.32	597,753.11	690.0
33	3+940	1,506,467.80	597,687.86	690.3
34	4+080	1,506,612.07	597,617.15	699.2
35	4+260	1,506,673.73	597,639.58	703.1
36	4+310	1,506,792.67	597,595.48	704.7
37	4+440	1,507,103.05	597,578.28	701.488
38	4+795	1,507,258.48	597,574.87	694.471
39	4+910	1,507,367.77	597,573.31	692.96
40	5+050	1,507,471.56	597,549.75	685.618
41	5+150	1,507,555.37	597,571.44	681.383
42	5+230	1,507,733.45	597,464.57	671.435
43	5+420	1,507,848.74	597,454.62	669.18

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.5.2 Determinación de Pendientes Predominantes.

En base al alineamiento horizontal actual del tramo ya establecido, se generó un perfil longitudinal del mismo para poder extraer las elevaciones del terreno natural y determinar la pendiente.

Se debe tener en cuenta que el tramo presenta fuertes pendientes presentando pendientes mayores al 5%, alcanzando un máximo de -12.91% en algunos puntos del tramo.

La pendiente máxima de este tramo es de **-12.91%** con una longitud de 309.20mts y se encuentra en los estacionamientos 0+000 y el estacionamiento 0+309.20.

La pendiente mínima de este tramo es de **-1.28%** y se encuentra en los estacionamientos 1+702.52 y el estacionamiento 2+081 con una longitud de 379mts.

4.2.5.3 Determinación de Radios de Giro Actuales.

Para la determinación del radio de giro se realizó estableciendo un alineamiento sobre el eje existente del tramo. Posterior al establecimiento del eje se generó un

reporte del alineamiento horizontal por medio del cual se pudo clasificar el alineamiento del tramo de lo que se determinó que el radio de giro medio para todo el tramo en estudio es de 297.00.

En la **Tabla 26** se clasifican los radios de giros dependiendo de su predominio en el tramo.

Tabla 26: Clasificación de Radios de Giro Predominantes en el Tramo

Tramo	Radios			Estación
	Max.	Media	Min.	Km
1	700	297	30	0 – 5.42

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.5.4 Determinación de Derecho de Vía.

Para la determinación de derecho de vía a utilizar, se realizó dibujo de los cercos y límites de propiedad y realizar medidas a 200m. Determinándose que el derecho de vía existentes en el tramo en estudio varía de **12 a 20m**.

4.3 Trabajos de Gabinete.

En esta etapa se llevó el control de la información proveniente del trabajo de campo y específicamente de los equipos topográficos (Estación Total). Todos los datos provenientes de los equipos fueron procesados en Excel y en el software AUTOCAD CIVIL 3D para los dibujos y perfiles. **(Ver Planos en Anexos).**

CAPITULO V

DISEÑO VIAL



5.1 Diseño Geométrico.

El diseño geométrico se encarga de determinar las características geométricas de una vía a partir de factores como el tránsito, topografía, velocidades, de manera que se pueda circular de una forma cómoda y segura.

El diseño geométrico de una carretera está compuesto por tres elementos que son los siguientes:

Alineamiento Horizontal.

Es una proyección sobre un plano horizontal en el cual la vía está representada por su eje y por los bordes izquierdo y derecho.

Al cambiar la dirección de un alineamiento horizontal se hace necesario, colocar curvas, con lo cual se modifica el rumbo de la vía y se acerca o se aleja este del rumbo general que se requiere para unir el punto inicial con el final.

Alineamiento Vertical.

Es la proyección del eje de ésta sobre una superficie vertical paralela al mismo. Debido al paralelismo se muestra la longitud real de la vía a lo largo del eje. El eje en este alineamiento se llama rasante o subrasante dependiendo del nivel que se tenga en cuenta en el diseño. El diseño vertical o de rasante se realiza con base en el perfil del terreno a lo largo del eje de la vía. Dicho perfil es un gráfico de las cotas, donde el eje horizontal corresponde a las abscisas y el eje vertical corresponde a las cotas, dibujadas de izquierda a derecha.

El alineamiento vertical de una vía está compuesto por dos elementos principales: perfil y rasante.

Perfil.

El perfil del alineamiento vertical de una vía corresponde generalmente al eje de esta y se puede determinar a partir de una nivelación de precisión.

Rasante.

Compuesta por tangentes y curvas. Las tangentes tienen su respectiva longitud, la cual es tomada sobre la proyección horizontal (ΔX) y una pendiente (p) definida y calculada, y esta a su vez expresada normalmente en porcentaje.

Diseño Transversal.

La sección transversal de una carretera corresponde a un corte vertical normal al eje del alineamiento horizontal, definiendo la ubicación y dimensiones de cada uno de los elementos que conforman dicha carretera en un punto cualquiera y su relación con el terreno natural.

Los elementos que conforman y definen la sección transversal son: ancho de zona o derecho de vía, banca, corona, calzada, bermas, separador, carriles especiales, bordillos, andenes, cunetas, defensas, taludes y elementos complementarios (Agudelo Ospina, 2002).

5.2 Factores o Condicionantes del Diseño Geométrico.

Factores externos: Los factores externos están relacionados, con el relieve del terreno natural, la constitución geológica y geotécnica del mismo, el volumen y características de la circulación actual y su estimación futura, la climatología e hidrología de la zona, las urbanizaciones existentes y previstas, los parámetros socio - económicos del área y la estructura parcelaria de las propiedades.

Factores internos: Los factores internos del diseño contemplan las velocidades a tener en cuenta para el mismo, los efectos operacionales de la geometría

especialmente vinculados con la seguridad exigible y los relacionados con la estética y armonía de la solución (Agudelo Ospina, 2002).

5.3 Drenaje.

El sistema de drenaje es el conjunto de obras que permiten un manejo adecuado de los fluidos, para la cual es indispensable considerar los procesos de captación, conducción, y evacuación de los mismos. Lo más adecuado es hacerlos durante el período de lluvia en donde las evidencias son mayores, no obstante, en el período seco también se pueden observar señales de los cruces de agua como son socavación, erosión, deposición de sedimentos y materiales de arrastre.

5.4 Señalización.

La señalización es un lenguaje especial para comunicar ciertos mensajes a los usuarios que transitan por la vía.

Existen dos tipos de señalización:

5.4.1 Señalización Vertical.

Las señales verticales son dispositivos de control de tránsito, constituidas por placas fijadas en postes, estructuras instaladas sobre las vías o adyacentes a ellas, o aparatos luminosos y se clasifican en:

Reglamentarias: Son aquellas que indican al conductor, la existencia de ciertas limitaciones, prohibiciones y restricciones en el uso de la vía.

Preventivas: Estas señales se emplean con el objeto de prevenir al tránsito de condiciones peligrosas existentes o potenciales, en la carretera o adyacentes a ella.

Informativas: Se usarán para indicar a los usuarios el nombre y la ubicación de cada uno de los destinos que se presentan a lo largo de su recorrido.

5.4.2 Señalización Horizontal - Demarcación en el Pavimento.

Es la aplicación de marcas viales, conformadas por líneas, flechas, símbolos y letras que se pintan sobre el pavimento, bordillos y estructuras de las vías de circulación o adyacentes a ellas, así como los objetos que se colocan sobre la superficie de rodadura, con el fin de regular, canalizar el tránsito o indicar la presencia de obstáculos por ende se clasifican en marcas longitudinales y se deben considerar los siguientes conceptos:

- Las líneas longitudinales de trazo discontinuo tienen carácter permisivo, es decir que pueden cruzarse siempre que ello se efectúe dentro de las condiciones normales de seguridad.
- Las líneas longitudinales de trazo continuo tienen carácter restrictivo, no deben cruzarse, ni se puede circular sobre ellas.

Los tipos de líneas longitudinales son:

- Línea blanca de trazo discontinuo.
- Línea blanca de trazo continuo.
- Línea doble blanca de trazo continuo.
- Línea amarilla de trazo continuo.
- Línea amarilla de trazo discontinuo.
- Línea doble formada por dos líneas amarillas de trazos discontinuos.
- Línea doble constituida por una línea amarilla de trazo continuo y una de trazo discontinuo.
- Línea punteada.

Cuando se utilice doble línea, la separación entre las mismas debe ser de 0.15 m.

Marcas transversales: Incluyen marcas en el hombro es decir espaldón, palabras y símbolos, líneas de parada, líneas para sendas peatonales, marcas para reducir la velocidad, marcas para espacio de parqueos (SIECA, 2014).

5.5 Resultados Obtenidos.

Para el diseño geométrico de la vía se aplicaron las normas de diseño geométrico de carreteras regionales de SIECA (2004), y se siguieron los siguientes pasos:

5.5.1. Clasificación del Tipo de Vía.

La vía se clasificó en dependencia del volumen del estudio del tráfico, siguiendo la clasificación de la (SIECA, 2004).

Tabla 27: Clasificación de Tipo de Vía, según el TPDA

Descripción		TPDA
Autopistas Regionales		>20,000
Troncales	Suburbanas	20,000-10,000
	Rurales	10,000-3,000
Colectoras	Suburbanas	3,000-500
	Rurales	3,000-500

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2004.

La vía en estudio se clasificó en dependencia del estudio de tránsito antes realizado (**Capítulo II, Estudio de Tránsito**), teniendo como resultado un TPDA de **325**, el cual comprende entre 3000 – 500, siendo así una **colectora rural**, según la clasificación de la Norma para el Diseño de las Carreteras Regionales, SIECA 2004.

Por otra parte, la Revista de Inventario Vial del MTI Año 2009, clasifica el tramo en estudio como Colectora Secundaria.

5.5.2 Selección del Vehículo de Diseño.

El vehículo de diseño se seleccionó en base de los resultados del estudio de tránsito, utilizando el tipo **BUS**, que, aunque no es el de mayor frecuencia, es el vehículo más crítico en cuanto a distancia entre ejes, siendo así el que más se adapta al derecho de vía existente.

Tabla 28: Dimensiones de los Vehículos de Diseño

	P	BUS	SU	WB-15	WB-19	WB-20
Altura	1.3(1.3)	4.1	4.1(4.1)	4.1(4.1)	4.1	4.1
Ancho	2.1(2.1)	2.6	2.6(2.6)	2.6(2.6)	2.6	2.6
Longitud	5.8(5.8)	12.1	9.1(9.2)	16.7(16.8)	21	22.5
Voladizo Delantero	0.9(0.9)	2.1	1.2(1.2)	0.9(0.9)	1.2	1.2
Voladizo Trasero	1.5(1.5)	2.4	1.8(1.8)	0.6(0.6)	0.9	0.9
Distancia entre ejes Extremos, WB1	3.4(3.4)	7.6	6.1(6.1)	6.1(6.1)	6.1	6.1
Distancia entre ejes Extremos, WB2				9.1(9.2)	12.8	14.3

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2004.

5.5.3 Selección de Velocidad de Diseño.

La velocidad de diseño se determinó según la topografía del terreno y el volumen de Tránsito Promedio Diario Anual, (TPDA), ya que es uno de los elementos principales en el diseño de carreteras. El TPDA, según el estudio del tránsito. **(Tabla 12, Pág. 19).**

Tabla 29: Elementos de Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2004

No.	DESCRIPCION	AUTOPISTAS REGIONALES	TRONCALES			COLECTORAS	
			Suburbanas	Rurales	Suburbanas	Suburbanas	Rurales
1	TPDA, vehículos promedio diario	>20,000	20,000-10,000	10,000-3,000	3,000-500	3,000-500	3,000-500
2	VHD, vehículos por hora	>2,000	2,000-1,000	1,500-450	300-50	450-75	450-75
3	Factor de Hora Pico, FHP	0.92	0.92	0.95-0.91	0.92	0.85	0.85
4	Vehículo de Diseño	WB-20	WB-20	WB-20	WB-15	WB15	WB15
5	Tipo de Terreno	P O M	P O M	P O M	P O M	P O M	P O M
6	Velocidad de Diseño o Directriz, km/hora	110 90 70	90 80 70	80 70 60	70 60 50	70 60 50	70 60 50
7	Número de Carriles	4 a 8	2 a 4	2 a 4	2	2	2
8	Ancho de Carril, metros	3.6	3.6	3.6	3.3-3.6	3.3	3.3
9	Ancho de Hombros/Espaldones, metros	Int: 1.0 - 1.5 Ext: 1.8 - 2.5	Int: 1.0 - 1.5 Ext: 1.8 - 2.5	Int: 0.5 - 1.0 Ext: 1.2 - 1.8	Ext: 1.2 - 1.5	Ext: 1.2 - 1.5	Ext: 1.2 - 1.5
10	Tipo de Superficie de Rodamiento	Pav.	Pav.	Pav.	Pav.	Pav.-Grava	Pav.-Grava
11	Dist.de Visibilidad de Parada, metros	110-245	110-170	85-140	65-110	65-110	65-110
12	Dist. de Visib. Adelantamiento, metros	480-670	480-600	410-540	350-480	350-480	350-480
13	Radio Mín. de Curva, Peralte 6%, metros	195-560	195-335	135-250	90-195	90-195	90-195
14	Maximo Grado de Curva	5°53' - 2°03'	5°53' - 3°25'	8°29' - 4°35'	12°44' - 5°53'	12°44' - 5°53'	12°44' - 5°53'
15	Pendiente Longitudinal Max, porcentaje	6	8	8	10	10	10
16	Sobreelevación, porcentaje	10	10	10	10	10	10
17	Pendiente Transversal de Calzada, %	1.5 - 3	1.5-3	1.5-3	1.5-3	1.5-3	1.5-3
18	Pendiente de Hombros, porcentaje	2-5	2-5	2-5	2-5	2-5	2-5
19	Ancho de Puentes entre bordillos, metros	Variable	Variable	Variable	7.8-8.7	7.8-8.1	7.8-8.1
20	Carga de Diseño de Puentes (AASHTO)	HS 20-44+25%	HS20-44+25%	HS20-44+25%	HS20-44	HS20-44	HS20-44
21	Ancho de Derecho de vía, metros	80-90	40-50	40-50	20-30	20-30	20-30
22	Ancho de Mediana, metros	4-12	4-10	2-6	-	-	-
23	Nivel de Servicio, según el HCM	B-C	C-D	C-D	C-D	C-D	C-D
24	Tipo de Control de Acceso	Control Total	Control Parcial	Sin Control	Sin Control	Sin Control	Sin Control
25	CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	AR-TS	AR-TS-TR	TR-CR	TS-CS	TR-CR	TR-CR

Notas: Pav: Pavimento asfáltico o de cemento Portland

P: Plano O: Ondulado M: Montañoso

AR:Autopista Regional, TS: Troncal Suburbana, TR: Troncal Rural, CS: Colectora Suburbana, CR: Colectora Rural

Fuente: Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales, SIECA 2004, pág. 13.

Teniendo en cuenta que para una Colectora Rural, con terreno ondulado las Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2004, recomienda usar una velocidad de diseño de 60kph, el cual partiendo de estos datos hemos encontrado que los radios de curvas en la zona de estudio son muy altos, por lo tanto, el derecho de vía no nos permite usar lo recomendado por las Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2004, ya que se invadirían las propiedades aledañas al tramo en estudio, por lo cual se probaron velocidades de diseño menores, siendo **30kph** la que mejor se adapta a las condiciones de la vía.

Tabla 30: Clasificación de Terrenos en Función de Pendientes

Tipo de Terreno	Rangos de Pendientes (%)
Llano o plano	$G \leq 5$
Ondulado	$5 > G \leq 15$
Montañoso	$15 > G \geq 30$

G= Pendiente

Fuente: Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales, SIECA 2004.

La clasificación del terreno se estableció en dependencia de las pendientes mínimas y máximas, de acuerdo al Estudio Topográfico, donde se presentan pendientes mínimas de 1.28% y máximas de 12.91%, por lo cual las Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales, SIECA 2004, clasifica la vía en estudio como terreno ondulado.

Tabla 31: Velocidad de Diseño

Tramo	De Estación a Estación	Tipo de Terreno	Longitud de Tramo(Km)	Velocidad de Diseño (kmh)
1	0+000 - 5+420	Ondulado	5.42	30

Fuente: Elaboración Propia.

5.5.4 Sección Típica de Diseño.

Número de Carriles: La SIECA en su manual de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales 2004, recomienda que para vías del tipo Colectora Rural sea de 2 carriles, de acuerdo a esto se propone una vía de 2 carriles.

Tipo de Calzada: La calzada propuesta para la vía en estudio es una capa de rodamiento de adoquín de concreto del tipo tráfico con una $F'c = 3500\text{PSI}$.

Ancho de Calzada y Hombros: La SIECA recomienda que para vías del tipo Colectora Rural un ancho de calzada variante entre 6.6 y 7.2 metros con hombros variantes entre 1.2 metros y 1.5 metros; sin embargo, para la vía en estudio se propone un ancho de calzada de **6.6 metros**, hombros de **1 metro** y bordillos de **0.30 metros**.

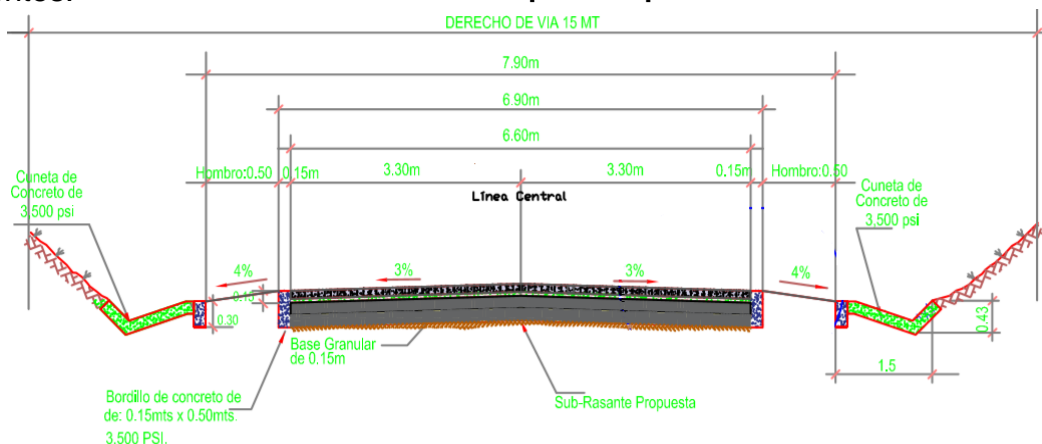
Ancho de Corona: La distribución de los **7.9 metros** de corona se divide en 6.6 metros para rodamiento, dividido en 3.3 metros para cada carril, con 1 metro de hombros dividido 0.50 metros a cada lado y 0.30 metros de bordillo dividido 0.15 metros a cada lado.

Pendiente Transversal o Bombeo Lateral: Para vías del tipo colectora rural la SIECA recomienda pendientes transversales entre 1.5% y 3%, teniendo esto en cuenta, se propone una Pendiente Transversal o Bombeo Lateral del **3%**.

Drenaje Superficial: El drenaje superficial debe ser muy efectivo para evacuar rápidamente las aguas de la superficie del pavimento y evitar que éstas se infiltren dentro de la estructura del mismo, ocasionándole daños que pueden ser considerables y de efectos inmediatos o a corto plazo. También previenen que el lodo o suciedades de las áreas no pavimentadas de la carretera penetren los lados del carril exterior de circulación, causando problemas de visibilidad de la línea de demarcación del borde separador entre el pavimento y sus hombros.

En este caso se proponen cunetas laterales del tipo triangular con un ancho promedio de **1.5 metros**. Los canales de drenaje o cunetas se construyen a los lados de las carreteras para conducir el agua hacia las alcantarillas, cajas o puentes.

Ilustración 1: Sección Típica Propuesta



Fuente: Elaboración Propia

5.5.5 Distancia de Visibilidad en Carreteras.

5.5.5.1 Distancia de Visibilidad de Parada (DVP).

Esta es la distancia requerida por un conductor para detener su vehículo en marcha, cuando surge una situación de peligro o percibe un objeto imprevisto adelante de su recorrido. Esta distancia se calcula para que un conductor y su vehículo por debajo del promedio, alcance a detenerse ante el peligro u obstáculo. Es la distancia de visibilidad mínima con que debe diseñarse la geometría de una carretera, cualquiera que sea su tipo.

La distancia de visibilidad de parada en su primer componente, **d1**, se calcula involucrando la velocidad y el tiempo de percepción y reacción del conductor, mediante la siguiente ecuación:

$$d1=0.278vt \quad \text{Ecuación (7)}$$

Dónde:

v = Velocidad inicial, en kilómetros por hora.

t = Tiempo de reacción, en segundos.

La distancia de frenado, **d2**, se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$d2= \frac{v^2}{254f} \quad \text{Ecuación (8)}$$

Donde:

v= velocidad inicial, kilómetros por hora.

f = coeficiente de fricción longitudinal entre llanta y superficie de rodamiento.

Datos a Utilizar en la Ecuación:

Velocidad: 30km/h

Tiempo de Reacción: 2.5s

Coeficiente de Fricción: 0.40

$$DVP = \left[0.278(30 \cdot 2.5) + \left(\frac{30^2}{254 \cdot 0.40} \right) \right] \quad \text{Ecuación (9)}$$

Realizando la **Ecuación 9**, se obtuvo una **distancia de visibilidad de parada de 30m**, esta es la sumatoria de la distancia de reacción (**d1**), y la distancia de parada (**d2**).

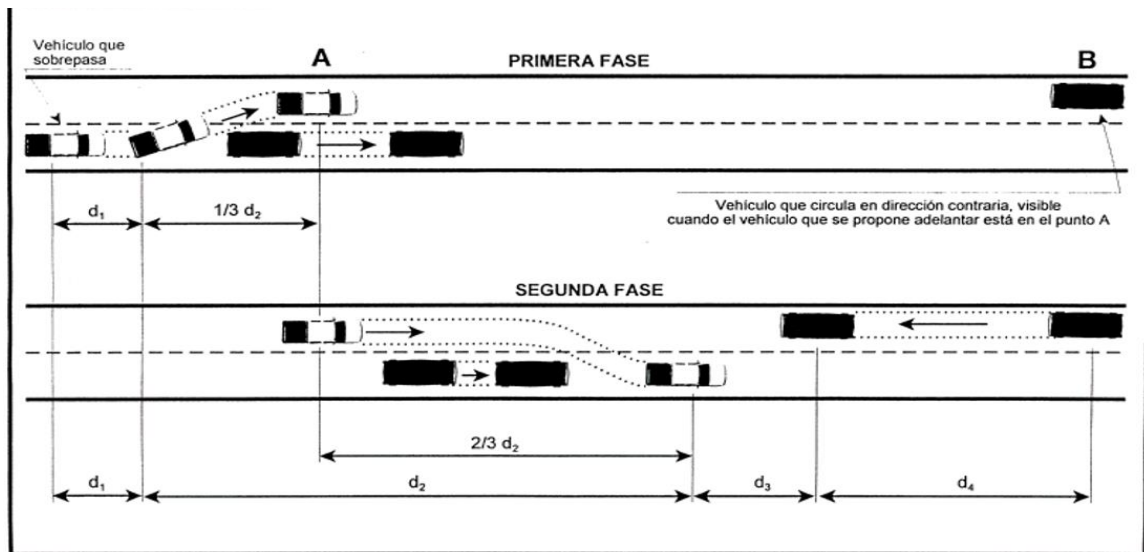
5.5.5.2 Distancia de Visibilidad de Adelantamiento (DVA).

Se define como la mínima distancia de visibilidad requerida por el conductor de un vehículo para adelantar a otro vehículo que, a menor velocidad relativa, circula en su mismo carril y dirección, en condiciones cómodas y seguras, invadiendo para ello el carril contrario, pero sin afectar la velocidad del otro vehículo que se le acerca, el cual es visto por el conductor inmediatamente después de iniciar la maniobra de adelantamiento.

La distancia de visibilidad de adelantamiento es la sumatoria de las cuatro distancias separadas.

- Distancia preliminar de demora, **d1**.
- Distancia de adelantamiento, **d2**.
- Distancia de seguridad, **d3**.
- Distancia recorrida por el vehículo que viene en el carril contrario, **d4**.

Ilustración 2: Etapas de Maniobra de Adelantamiento en Carreteras de dos Carriles



Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales, SIECA, 2004

Para la determinación de la Visibilidad de Adelantamiento, tenemos los siguientes a usar:

Velocidad de Diseño: 30km/h

Velocidad Promedio de Vehículo que Rebasa: 44km/h

Diferencia de Velocidad de Vehículo que Rebasa y Vehículo Rebasado (m):
15km/h

Maniobra Inicial (a): 2.25 km/h/s

Tiempo de Reacción (t1): 3.6s

Tiempo de Ocupación de Carril Opuesto (t2): 9.3s

La Distancia Preliminar de Demora (d1), se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$d1=0.278t_1\left(v-m+a\frac{t_1}{2}\right) \quad \text{Ecuación (10)}$$

Donde:

v= Velocidad promedio del vehículo que rebasa, en km/h.

t₁= Tiempo de maniobra inicial, en segundos.

a= Aceleración promedio del vehículo que rebasa, en km/h.

m= Diferencia de velocidad entre el vehículo que Rabasa y el vehículo que es rebasado, km/h.

Sustituyendo los valores de la **ecuación 10** tenemos:

$$d1=0.278*3.6\left(44-15+2.25\frac{3.6}{2}\right)=33 \text{ metros}$$

Para una velocidad de 30km/h, la Distancia Preliminar de Demora (**d1**) es de **33 metros**.

La Distancia de Adelantamiento (d2), se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$d2=0.278vt_2 \quad \text{Ecuación (11)}$$

Donde:

v= Velocidad promedio del vehículo que rebasa, en km/h.

t₂= Tiempo de ocupación del carril opuesto, en segundos.

Sustituyendo los valores de la **ecuación 11**, tenemos:

$$d_2 = 0.278(44 \times 9.3) = 114 \text{ metros}$$

Para una velocidad de 30km/h, la Distancia de Adelantamiento (**d2**) es de **114 metros**.

La Distancia de Seguridad (d3), la experiencia ha demostrado que valores entre 35 y 90m son aceptables, se tomó una distancia de seguridad (**d3**) de **35 metros**.

Distancia recorrida por el vehículo que viene en el carril contrario (d4), es práctico fijar esta distancia en dos tercios (2/3) de la distancia **d2**. Llevando esto a cabo tenemos una distancia recorrida (**d4**) de **76 metros**.

Teniendo todas las distancias obtenidas, la **Distancia de Visibilidad de Adelantamiento (DVA)** se calcula con la siguiente ecuación:

$$DVA = d_1 + d_2 + d_3 + d_4$$

Ecuación (12)

Sustituyendo valores en **ecuación 12**, obtenemos:

$$DVA = 33 + 114 + 35 + 76 = 258 \text{ metros}$$

Realizando la **Ecuación 12**, se establece que para una velocidad de 30km/h, se tiene una Distancia de Visibilidad de Adelantamiento de **258 metros**, cumpliendo con los requerimientos establecidos por las Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales, SIECA, 2004, lo cual establece que para una velocidad de diseño de 30km/h, se tiene que tener al menos una distancia de visibilidad de adelantamiento de 220 metros (**Ver Anexos, Tabla 50 Pág. IV**).

5.5.6 Radio Mínimo de Curva.

El radio mínimo son los valores límites de la curva de velocidad de diseño dada, que se relaciona con la sobreelevación máxima y la fricción máxima para el diseño.

Una vez establecido el máximo factor de sobreelevación (e), los radios mínimos de curvatura horizontal se pueden calcular con la siguiente ecuación:

$$R = \frac{V^2}{127(e+f)} \quad \text{Ecuación (13)}$$

Donde:

R = Radio mínimo de curva, en metros.

V= Velocidad de diseño, en Kilometro por hora.

e = Tasa de sobreelevación en fracción decimal.

f = Factor de fricción lateral, que es la fuerza de fricción dividida por la masa perpendicular al pavimento.

Se tomará un valor de sobreelevación de **8%**, puesto que La AASTHO recomienda que la máxima sobreelevación para carreteras y calles sea de **8%**, puesto que valores superiores a este causan grandes velocidades, **siendo este valor seleccionado como parámetro de diseño.**

Metric					
Design Speed (km/h)	Maximum e (%)	Limiting Values of f	Total (e/100 + f)	Calculated Radius (m)	Rounded Radius (m)
20	8.0	0.18	0.28	12.1	10
30	8.0	0.17	0.25	28.3	30
40	8.0	0.17	0.25	50.4	50
50	8.0	0.16	0.24	82.0	80
60	8.0	0.15	0.23	123.2	125
70	8.0	0.14	0.22	175.3	175
80	8.0	0.14	0.22	228.9	230
90	8.0	0.13	0.21	303.6	305
100	8.0	0.12	0.20	393.5	395
110	8.0	0.11	0.19	501.2	500
120	8.0	0.09	0.17	666.6	665
130	8.0	0.08	0.18	831.3	830

Note: In recognition of safety considerations, use of $e_{max} = 4.0\%$ should be limited to urban conditions.

Exhibit 3-14. Minimum Radius for Design of Rural Highways, Urban Freeways, and High-Speed Urban Streets Using Limiting Values of e and f

Teniendo definida la sobreelevación, en la **Tabla 3-14 de la AASHTO** se muestran los valores de fricción recomendados y los radios mínimos para las distintas velocidades de diseño, de acuerdo a esto se tomó entonces un valor de **fricción lateral** de **0.17**.

Sustituyendo valores de **ecuación 13**, tenemos:

$$R = \frac{30^2}{127(0.08+0.17)} = 28.35 \text{ metros}$$

Realizando la **Ecuación 13** se obtuvo un **Radio Mínimo (Rmin)** para una velocidad de diseño de **30km/h**, de **28.35 metros**, se tomó el mínimo recomendado por las Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales, SIECA, 2004, que es de **30 metros**.

5.5.7 Grado de Curvatura.

Es el ángulo sustentado en el centro de un círculo de radio R por un arco de 100 pies o de 20 metros, según el sistema de medidas utilizado. Para países como los centroamericanos, que se rigen por el sistema métrico, se utiliza la siguiente expresión para el cálculo de Grado de Curvatura:

$$D = \frac{1145.92}{R} \quad \text{Ecuación (14)}$$

Donde:

R= Radio Mínimo de Curva

D= Expresado en Grados, Minutos y segundos.

Sustituyendo valores de la **ecuación 14**, tenemos:

$$D = \frac{1145.92}{30} = 38.20$$

Realizando la **Ecuación 14** se obtuvo un Grado de Curvatura de **38.20**, equivalente a **38°11'50"**.

5.5.8 Sobre Ancho en Curvas Horizontales.

Se define como la diferencia del ancho del carril en un tramo en tangente respecto a uno en curva. En las calles y carreteras modernas con un ancho de carril de 3.6 y con buen alineamiento (tanto horizontal como vertical), la necesidad de sobre ancho ha disminuido considerablemente incluso en vías de alta velocidad; sin embargo, para algunas condiciones de velocidad, radio de curvatura y ancho de carril aun es apropiado su aplicación.

El sobre ancho es necesario en algunas curvas por dos razones: en primer lugar, el vehículo de diseño, quizás el más influyente de los elementos, debido a que sus

llantas traseras generalmente ruedan más internamente que las delanteras en recorridos en curva, y en segundo la dificultad de mantener la dirección del vehículo en el centro de la vía.

Para establecer el sobre ancho en curvas se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- En curvas circulares sin transición, el sobre ancho total debe aplicarse en la parte interior de la calzada. El borde externo y la línea central deben mantenerse como arcos concéntricos.
- Cuando existen curvas de transición, el sobre ancho se divide igualmente entre el borde interno y externo de la curva, aunque también se puede aplicar totalmente en la parte interna de la calzada.
- El ancho extra debe efectuarse sobre la longitud total de transición y siempre debe desarrollarse en proporción uniforme, nunca abruptamente, para asegurarse que todo el ancho de los carriles modificados sea efectivamente utilizado. Los cambios en el ancho normalmente pueden efectuarse en longitudes comprendidas entre 30 y 60 m.

Una de las expresiones empíricas más utilizadas para calcular el sobre ancho en las curvas horizontales es la siguiente:

$$S=n \left[R-(R^2-L^2)^{\frac{1}{2}} \right] + \frac{0.10V}{R^{\frac{1}{2}}} \quad \text{Ecuación (15)}$$

Donde:

S= Valor sobre ancho, metros.

n= Número de carriles de la superficie de rodamiento.

L= Longitud entre el eje frontal y el eje posterior del vehículo de diseño, metros.

R= Radio de curvatura, metros.

V= Velocidad de diseño, kilómetros por hora.

Realizando la **Ecuación 15** se obtuvo la siguiente tabla:

Tabla 32: Sobreanchos de la Vía en estudio Las Cruces - El Caracol

Radio, m	Sobre Ancho	
	Calculado	Recomendado (SIECA)
320	0.4	-
300	0.4	-
280	0.4	-
270	0.4	-
260	0.4	-
240	0.5	-
200	0.5	-
160	0.6	0.6
150	0.7	0.7
130	0.8	0.8
120	0.8	0.8
100	0.9	0.9
85	1.1	1.1
80	1.1	1.1
70	1.3	1.3
65	1.4	1.4
60	1.5	1.5
55	1.6	1.6
50	1.7	1.7
45	1.9	1.9
40	2.1	2.1
35	2.4	2.4
30	2.7	2.7
Nota: La SIECA recomienda que sobreanchos menores a 0.6 no son necesarios en las curvas.		

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a la **Tabla 32**, se tiene que para curvas con un radio mayor a 160m no se les aplicara sobre ancho, ya que el Manual de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales SIECA, expresa que sobre anchos menores a 0.6 no son necesarios en las curvas.

5.5.9 Longitud de Transición.

Las carreteras muchas veces presentan curvas horizontales muy sucesivas y estas presentan diversos radios, por eso es importante proveer un recorrido seguro y suave de una curva a otra, por lo tanto, es importante hacer una correcta distribución de la sobreelevación y el coeficiente de fricción, esto es necesario para pasar cómodamente y sin riesgos de una sección en tangente a una sección en curva o dicho en otras palabras para pasar del bombeo al peralte máximo.

Se utilizaron los siguientes datos de diseño para determinar Longitud de Transición y Transición del Bombeo:

Velocidad de Diseño: 30km/h

Velocidad de Ruedo: 29km/h

Sobreelevación (e): 0.08

Coeficiente de Fricción Lateral (f): 0.17

Semi-ancho de calzada: 2.90m

Gradiente Máximo de Curvatura (Dmax):

$$D_{max} = \frac{145,606(e_{max} + f_{max})}{V_d^2} \quad \text{Ecuación (16)}$$

$$D_{max} = \frac{145,606(0.08 + 0.17)}{30^2} = 40.45 \approx 40^\circ 26' 46''$$

Grado de Desplazamiento de PI (Dpi):

$$D_{pi} = \frac{145,606(e_{max})}{V_r^2} \quad \text{Ecuación (17)}$$

$$D_{pi} = \frac{145,606(0.08)}{(29)^2} = 13.85 \approx 13^{\circ}51'2.7''$$

Desplazamiento de PI (h_{pi}):

$$h_{pi} = e_{max} \left(\frac{V_d^2}{V_r^2} \right) - e_{max} \quad \text{Ecuación (18)}$$

$$h_{pi} = 0.08 \left(\frac{30^2}{29^2} \right) - 0.08 = 0.0056$$

Pendiente de Rama 1 y 2 (S₁, S₂):

$$S_1 = h_{pi} / D_{pi} \quad \text{Ecuación (19)}$$

$$S_1 = h_{pi} / D_{pi} = 0.000405$$

$$S_2 = \left(\frac{f_{max} - h_{pi}}{D_{max} - D_{pi}} \right) \quad \text{Ecuación (20)}$$

$$S_2 = \left(\frac{0.17 - 0.0056}{0.08 - 13.85} \right) = 0.006181$$

Media Ordenada (M_o):

$$M_o = \frac{D_{pi}(D_{max} - D_{pi})(S_2 - S_1)}{2(D_{max})} \quad \text{Ecuación (21)}$$

$$M_o = \frac{13.85(40.45 - 13.85)(0.006181 - 0.000405)}{2(40.45)} = 0.0263$$

El cálculo del coeficiente de fricción (**f**), para cada uno de los Radios presentados en la (**Tabla 31, Pag.65**), se calculó con las siguientes ecuaciones:

$$f = Mo \left(\frac{D_{max} - D_c}{D_{max} - D_{pi}} \right)^2 + H_{pi} + S_2(D_c - D_{pi}) \quad \text{Ecuación (22)}$$

$$f = Mo \left(\frac{D_c}{D_{pi}} \right)^2 + H_{pi} + S_1(D_c) \quad \text{Ecuación (23)}$$

Si el Grado de Curvatura (D_c) es menor al Grado de Desplazamiento del PI (D_{pi}), se utilizó la **Ecuación 22**. Si el Grado de Curvatura (D_c) es mayor al Grado de Desplazamiento del PI (D_{pi}), se utilizó la **Ecuación 23**.

El peralte (**e**) para cada uno de los Radios se calculó con la siguiente ecuación:

$$e = \frac{V^2}{127R} - f \quad \text{Ecuación (24)}$$

Para el cálculo de la Longitud de Transición (LT), se utilizó la siguiente ecuación:

$$LT = (m)(a)(e) \quad \text{Ecuación (25)}$$

Donde:

LT= Longitud de Transición, m

a= semi-ancho de calzada, m

e= Peralte de curva circular, m/m

m= Pendiente* relativa

La pendiente relativa para la velocidad de diseño establecida para la vía en estudio, según la AASHTO es de 133.

Tabla 33: Pendiente Relativa según Velocidad de Diseño

Design speed (km/h)	Metric Maximum relative gradient (%)	Equivalent maximum relative slope
20	0.80	1:125
30	0.75	1:133
40	0.70	1:143
50	0.65	1:150
60	0.60	1:167
70	0.55	1:182
80	0.50	1:200
90	0.47	1:213
100	0.44	1:227
110	0.41	1:244
120	0.38	1:263
130	0.35	1:286

Fuente: AASHTO-Geometric Design of Highways and Streets (2001).

Según AASHTO, si el peralte es menor al 3%, es una curva CCS (curva circular simple). Por tanto, se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$LT = b \cdot e_D \quad \text{Ecuación (26)}$$

Donde:

b= Bombeo o pendiente transversal en metro/metro

e_D = Peralte de diseño, m

Transición de Bombeo (N):

$$N = \frac{LT \cdot b}{e_D} \quad \text{Ecuación (27)}$$

Realizando las ecuaciones anteriormente mencionadas se tiene la **Tabla 34**, donde se refleja las distribuciones tanto de Peraltes como Longitud de Transición.

Tabla 34: Distribución de Peraltes y Longitud de Transición

Datos de Curva		Distribución de "e" y "f"			LT	N
Radio de Curva; m	Grado Curvatura; Dc	e+f	Coefficiente de Fricción	Peralte (ed)	Longitud de Transición; m	Transición al Bombeo; m
8000	0.14	0.001	0.000	SN	-	-
7000	0.16	0.001	0.000	SN	-	-
6000	0.19	0.001	0.000	SN	-	-
5000	0.23	0.001	0.000	SN	-	-
4000	0.29	0.002	0.000	SN	-	-
3000	0.38	0.002	0.000	SN	-	-
2500	0.46	0.003	0.000	SN	-	-
2000	0.57	0.004	0.000	SN	-	-
1600	0.72	0.004	0.000	SN	-	-
1500	0.76	0.005	0.000	SN	-	-
1300	0.88	0.005	0.000	SN	-	-
1200	0.95	0.006	0.001	SN	-	-
1000	1.15	0.007	0.001	SN	-	-
900	1.27	0.008	0.001	SN	-	-
800	1.43	0.009	0.001	SN	-	-
700	1.64	0.010	0.001	SN	-	-
600	1.91	0.012	0.001	SN	-	-
500	2.29	0.014	0.002	SN	-	-
400	2.86	0.018	0.002	SN	-	-
300	3.82	0.024	0.004	SN	-	-
250	4.58	0.028	0.005	SN	-	-
200	5.73	0.035	0.007	SI	-	-
190	6.03	0.037	0.007	SI	-	-
180	6.37	0.039	0.008	3.1%	12	12
170	6.74	0.042	0.009	3.3%	13	12
160	7.16	0.044	0.010	3.4%	13	12
150	7.64	0.047	0.011	3.6%	14	12
140	8.19	0.051	0.013	3.8%	15	12
130	8.81	0.054	0.014	4.0%	16	12
120	9.55	0.059	0.016	4.3%	16	12
110	10.42	0.064	0.019	4.5%	17	12
100	11.46	0.071	0.023	4.8%	19	12
90	12.73	0.079	0.027	5.1%	20	12
80	14.32	0.089	0.034	5.5%	21	12
70	16.37	0.101	0.043	5.8%	23	12
60	19.10	0.118	0.055	6.3%	24	12
50	22.92	0.142	0.073	6.9%	26	12
40	28.65	0.177	0.102	7.5%	29	12
30	38.20	0.236	0.156	8.0%	31	12
SN: Sección Normal SI: Sección Inversa (Peralte igual a Pendiente Transversal Normal) LT: Longitud de Transición, no incluye transición del bombeo						

Fuente: Elaboración Propia.

5.5.10 Alineamiento Vertical.

5.5.10.1 Pendiente Longitudinal Máxima.

Se define como la máxima pendiente permitida para que la operación de los vehículos en la vía sea segura. El manual de la AASHTO define que la máxima pendiente recomendada para carreteras depende de la velocidad y la clasificación de la misma, para las velocidades de diseño de nuestro proyecto la máxima pendiente recomendada se encuentra entre 7 y 10%.

Sin embargo, la pendiente longitudinal máxima está estrechamente ligada a la reducción de la velocidad de operación de los vehículos. Por lo que dado las condiciones topográficas existentes en el tramo se ha definido una pendiente máxima de **18%**.

5.5.10.2 Curvas Verticales.

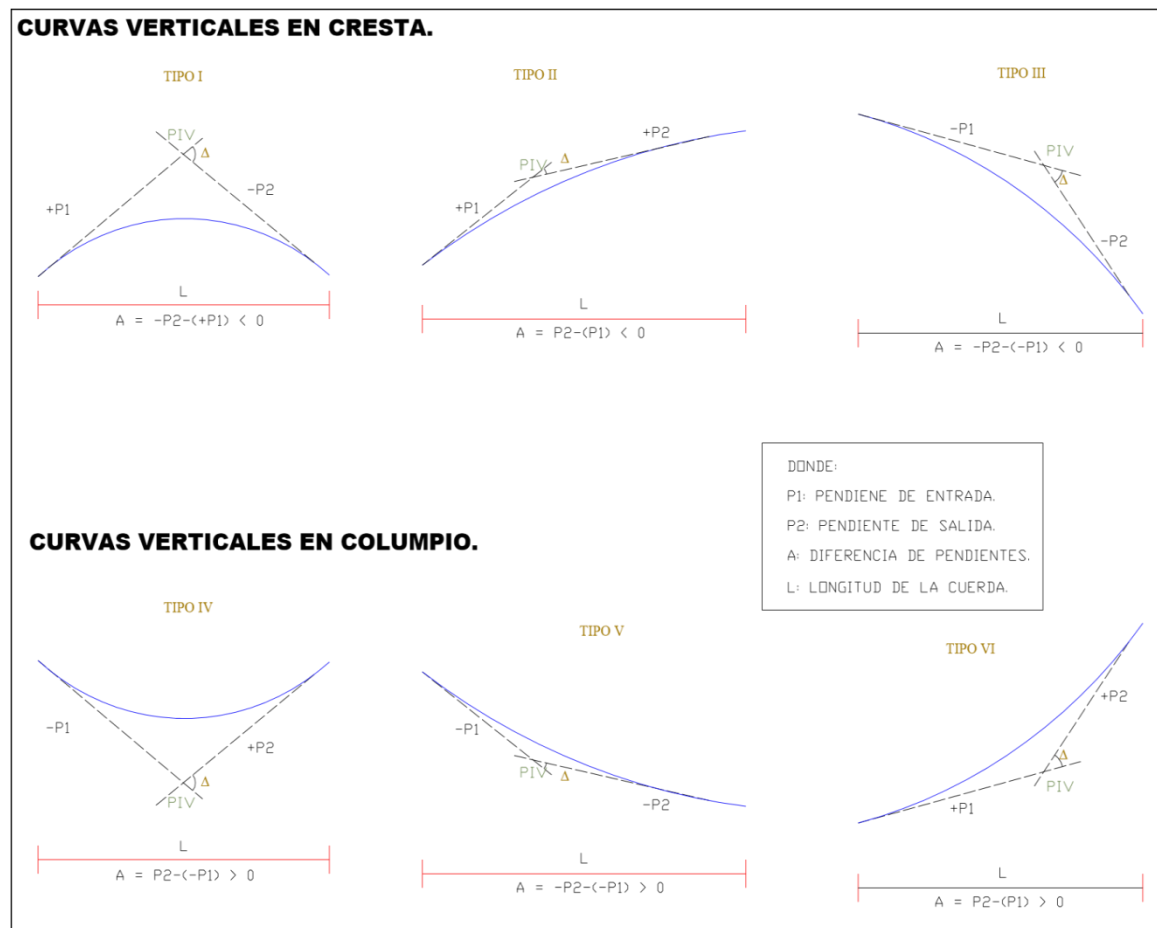
Las curvas verticales se emplean para reducir el efecto en la unión de pendientes y crear un diseño más seguro, confortable, de mejor apariencia y adaptación del drenaje. La AASHTO, recomienda que todas las curvas verticales deben ser diseñadas para proveer al menos la distancia de visibilidad de parada.

De igual forma la AASHTO expresa que la mínima longitud de una curva vertical es 0.6 veces la velocidad de diseño.

5.5.10.2.1 Tipos de Curvas Verticales

Las curvas verticales pueden tener su concavidad hacia arriba o hacia abajo. Las curvas cóncavas hacia arriba se denominan **Curvas en Cresta**, y las curvas cóncavas hacia abajo se llaman **Curvas en Columpio**.

Ilustración 3: Tipos de Curvas Verticales



Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales, SIECA, 2004

5.5.10.2.2 Cálculo de Curvas Verticales en Cresta

Datos conocidos del levantamiento topográfico:

- Elevación y estación del PIV.
- Pendientes
- Velocidad de diseño.

A) Determinación de la Diferencia Algebraica de las Pendientes (A).

La fórmula para encontrar A, varía según el caso que se presente (**Ver Ilustración 3, Pág. 73**).

B) Determinación de la Longitud de la Curva Vertical

$$L = K \cdot A \text{ Si: } S < L \text{ (Formulada Tomada de la AASHTO)}$$

Dónde:

L: Longitud de la cuerda.

A: Diferencia algebraica de las pendientes.

K: Relación de curvatura vertical. $K = \frac{S^2}{450}$

S: Distancia de visibilidad de parada.

Tabla 35: Controles de Diseño de Curvas Verticales en Cresta basados en las Distancias de Visibilidad de Parada

Velocidad de Diseño Km/h	Velocidad de marcha Km/h	Distancia de parada para diseño (m)	Tasa de curvatura vertical K, long (m) por % de G*
30	30-30	30-30	3-3
40	40-40	45-45	5-5
50	47-50	60-65	9-10
60	55-60	75-85	14-18
70	67-70	95-110	22-31
80	70-80	115-140	32-49
90	77-90	130-170	43-71
100	85-100	160-205	62-105
110	91-110	180-245	80-151

* Valores redondeados

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales, SIECA, 2004

B.1 Criterio de Comodidad

$$K = \frac{L}{A} \geq \frac{V_D^2}{395} \Rightarrow L \geq \frac{V_D^2 \cdot A}{395} \text{ donde A en \%}$$

B.2 Criterio de Apariencia

$$K = \frac{L}{A} \geq 30 \Rightarrow L \geq 30 \cdot A \text{ donde A en \%}$$

B.3 Criterio de Drenaje

$$K = \frac{L}{A} \leq 43 \Rightarrow L \leq 43 \cdot A \text{ donde A en \%}$$

C) Calculo de las Estaciones

$$PCV = PIV - L/2$$

$$PTV = PIV + L/2$$

D) Calculo de Elevación del PCV y PTV

$$ELEV_{PCV} = ELEV_{PIV} - [P1 \cdot (L/2)]$$

$$ELEV_{PTV} = ELEV_{PIV} + [P2 \cdot (L/2)]$$

E) Cálculo de elevaciones de la rasante por la curva, en puntos espaciados cada 20 m.

$$ELEV_x = ELEV_{PCV} + [P1 \cdot (X)] - \frac{AX^2}{2L} \quad \text{ó} \quad ELEV_x = ELEV_{PTV} + [P2 \cdot (X)] - \frac{AX^2}{2L}$$

Donde:

X= diferencia de estaciones, metros.

P1 y P2 dadas en decimales [Pend. (%) / 100 %]

F) Punto más Alto de la Curva

$$\text{Referido al PCV: } X_m = \frac{(P1 \cdot L)}{P2 - P1} \Rightarrow EST_{P_{to \text{ Alto}}} = EST_{PCV} + X_m$$

$$\text{Referido al PTV: } X_m = \frac{(P2 \cdot L)}{P2 - P1} \Rightarrow EST_{P_{to \text{ Alto}}} = EST_{PTV} + X_m$$

5.5.10.2.3 Cálculo de Curvas Verticales en Columpio

Datos conocidos del levantamiento topográfico:

- Elevación y Estación del PIV.
- Pendientes
- Velocidad de Diseño.

A) Determinación de la Diferencia Algebraica de las Pendientes (A).

La fórmula para encontrar A, varía según el caso que se presente (**Ver Ilustración 3, Pág. 73**).

B) Determinación de la Longitud de la Curva Vertical

Si: $S < L$ $L = K \cdot A$ (Formulada Tomada de la AASHTO)

Donde:

L: Longitud de la cuerda.

A: Diferencia algebraica de las pendientes.

K: Relación de curvatura vertical. $K = A = \frac{S^2}{152 + (3.5 \cdot S)}$

S: Distancia de visibilidad de parada.

Tabla 36: Controles de Diseño de Curvas Verticales en Columpio basados en la Distancia de Visibilidad de Parada

Velocidad de diseño Km/h	Rango de velocidad de marcha Km/h	Coeficiente de fricción	Valores DVP (m)		Factor K de diseño *
			Menores	Mayores	
30	30-30	0.40	30	30	4-4
40	40-40	0.38	45	45	8-8
50	47-50	0.35	60	65	11-12
60	55-60	0.33	75	85	15-18
70	63-70	0.31	95	110	20-25
80	70-80	0.30	115	140	25-32
90	77-90	0.30	130	170	30-40
100	85-100	0.29	160	205	37-51
110	91-110	0.28	180	245	43-62

* Cifras redondeadas

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales, SIECA, 2004

B.1 Criterio de Drenaje

$$K = \frac{L}{A} \leq 43 \Rightarrow L \leq 43 \cdot A \quad \text{Dónde: } A \text{ en } \%$$

C) Calculo de las Estaciones

$$PCV = PIV - L/2$$

$$PTV = PIV + L/2$$

D) Calculo de Elevación del PCV y PTV

$$ELEV_{PCV} = ELEV_{PIV} - [P1 \cdot (L/2)]$$

$$ELEV_{PTV} = ELEV_{PIV} + [P2 \cdot (L/2)]$$

E) Cálculo de elevaciones de la rasante por la curva, en puntos espaciados cada 20 m.

$$ELEV_x = ELEV_{PCV} + [P1 \cdot (X)] - \frac{AX^2}{2L} \quad \text{ó} \quad ELEV_x = ELEV_{PTV} + [P2 \cdot (X)] - \frac{AX^2}{2L}$$

Donde:

X= diferencia de estaciones, metros.

P1 y P2 dadas en decimales [Pend. (%) / 100 %]

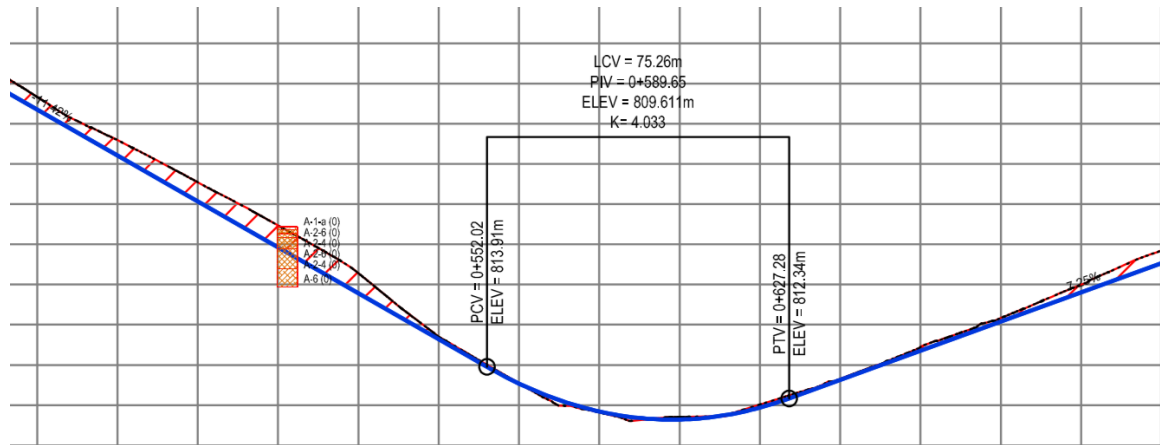
F) Punto más Bajo de la Curva

$$\text{Referido al PCV:} \quad X_m = \frac{(P1 \cdot L)}{P2 - P1} \Rightarrow EST_{Pto \text{ Alto}} = EST_{PCV} + X_m$$

$$\text{Referido al PTV:} \quad X_m = \frac{(P2 \cdot L)}{P2 - P1} \Rightarrow EST_{Pto \text{ Alto}} = EST_{PTV} + X_m$$

5.5.10.3 Cálculo de Curva Vertical

Ilustración 4: Curva Vertical N° 2



Datos:

Vd= 30Km/h

DvP= 30 mts.

P1= -11.42%

P2= 7.25%

A) Determinación de la Diferencia Algebraica de las Pendientes (A).

La fórmula para encontrar A, varía según el caso que se presente (**Ver Ilustración 3, Pág. 73**).

$$A = P2 - (-P1) > 0$$

$$A = 7.25 - (-11.42) = \mathbf{18.67} > 0$$

Si la diferencia de pendientes A, es mayor de 0, requiere curva vertical. A(+): Curva Vertical en Columpio.

B) Determinación de la Longitud de la Curva Vertical

Si: $S < L$ $L = K \cdot A$ (Formulada Tomada de la AASHTO)

K= 4 (**Ver Tabla 36, Pág. 76**)

$$L = (4 \cdot 18.67) = \mathbf{74.68 \text{ mts}}$$

La longitud de la curva vertical cumple con el mínimo recomendado por la SIECA que es 20mts.

B.1 Criterio de Drenaje

$$L \leq 43.A$$

$$74.68 \leq 43(18.67)$$

$$74.68 > 802.81 \text{ No Cumple}$$

La longitud no cumple con el criterio de drenaje, así mismo el bombeo transversal que es de 3% más las cunetas, se va a permitir la rápida evacuación del agua y así evitar que se deteriore la estructura.

C) Calculo de las Estaciones

$$PCV = PIV - L/2 = 0+589.65 - 74.68/2 = 0+552.31$$

$$PTV = PIV + L/2 = 0+589.65 + 74.68/2 = 0+627.10$$

D) Calculo de Elevación del PCV y PTV

$$ELEV_{PCV} = ELEV_{PIV} - [P1. (L/2)] = 809.61 - [-0.1142. (74.68/2)] = 813.88 \text{ mts}$$

$$ELEV_{PTV} = ELEV_{PIV} + [P2. (L/2)] = 809.61 + [0.0725. (74.68/2)] = 812.32 \text{ mts}$$

5.5.11 Resultados del Alineamiento Horizontal y Alineamiento Vertical

Resultados obtenidos del alineamiento Horizontal: En los 5.42 kilómetros, se trazaron 46 curvas horizontales, cuyas características se detallan en la **Tabla 37**.

Para el tramo **Las Cruces (0+000) – El Caracol (5+420)** todas las curvas fueron proyectadas para una velocidad de 30 Km/h, en la siguiente tabla se presenta un resumen de estas curvas:

Tabla 37: Datos de Curvas Horizontales Proyectadas

N°	PC	PI	PT	Longitud (metros)	Radio (metros)	Delta
1	0+042.66	0+076.37	0+103.15	60.49	55	63.0055 IZQ.
2	0+167.61	0+184.71	0+200.29	32.681	45	41.3641 DER.
3	0+217.71	0+235.79	0+250.25	32.542	30	62.0860 IZQ.
4	0+317.27	0+342.62	0+364.06	47.738	50	54.4212 DER.
5	0+399.29	0+424.15	0+441.58	42.29	32	75.3407 IZQ.
6	0+496.84	0+519.73	0+542.08	45.24	120	21.599 DER.
7	0+652.23	0+670.29	0+688.26	36.03	200	10.32 DER.
8	0+745.43	0+770.73	0+795.84	50.42	245	11.78 DER.
9	0+815.96	0+826.56	0+837.14	21.16	130	9.32 IZQ.
10	0+850.94	0+876.48	0+901.61	50.66	165	17.62 IZQ.
11	0+956.28	0+981.48	1+003.54	47.27	55	49.24 IZQ.
12	1+057.85	1+083.16	1+104.71	46.86	50	53.70 DER.
13	1+168.49	1+194.55	1+217.66	49.16	60	46.94 DER.
14	1+250.94	1+275.72	1+297.51	46.57	55	48.51 DER.
15	1+321.70	1+351.30	1+380.48	58.78	200	16.84 IZQ.
16	1+420.10	1+425.60	1+431.09	10.99	120	5.24 DER.
17	1+628.31	1+646.43	1+664.17	35.86	100	20.55 DER.
18	1+784.69	1+818.35	1+851.95	67.26	600	6.42 IZQ.
19	1+967.46	2+003.41	2+036.41	68.95	99	40.04 IZQ.
20	2+080.99	2+113.63	2+146.20	65.21	550	6.79 DER.
21	2+178.02	2+213.98	2+249.60	71.58	300	13.67 DER.
22	2+313.20	2+339.36	2+497.94	51.37	110	26.75 DER.
23	2+463.37	2+480.73	2+497.94	34.57	150	13.20 DER.
24	2+553.92	2+584.36	2+608.61	54.7	50	62.67 IZQ.
25	2+663.02	2+729.48	2+788.21	125.2	151	47.60 DER.
26	2+862.89	2+885.58	2+907.11	44.23	80	31.67 DER.
27	2+915.67	2+967.88	3+017.82	102.15	200	29.96 IZQ.
28	3+103.62	3+181.51	3+224.26	120.64	75	92.15 DER.
29	3+242.93	3+259.37	3+274.13	31.21	40	44.72 IZQ.
30	3+312.13	3+364.25	3+403.22	91.1	75	69.59 IZQ.
31	3+453.63	3+462.80	3+471.78	18.15	50	20.79 DER.
32	3+560.16	3+577.03	3+593.27	33.11	70	27.09 DER.
33	3+680.32	3+716.64	3+752.90	72.59	700	5.94 DER.
34	3+840.99	3+878.98	3+913.64	72.65	101	41.36 IZQ.
35	3+961.79	3+976.75	3+991.49	29.7	100	17.01 IZQ.
36	4+070.47	4+088.79	4+104.84	34.37	40	49.229 IZQ.
37	4+126.97	4+167.72	4+185.03	58.06	32	103.43 DER.
38	4+209.28	4+236.74	4+262.19	52.91	80	37.89 IZQ.
39	4+273.57	4+280.68	4+287.64	14.08	40	20.16 DER.
40	4+341.55	4+365.45	4+388.46	46.91	100	26.87 IZQ.
41	4+446.52	4+457.54	4+467.64	21.12	30	40.33 DER.
42	4+560.76	4+672.67	4+766.44	205.68	210	56.02 IZQ.
43	4+778.30	4+793.12	4+807.09	28.79	49	33.36 DER.
44	4+915.65	4+930.32	4+944.77	29.12	100	16.68 IZQ.
45	4+964.67	4+985.43	5+005.60	40.93	99	23.636 IZQ.
46	5+226.66	5+266.30	5+307.25	80.58	130	35.51 IZQ.

Fuente: Elaboración Propia

Resultados obtenidos del alineamiento Vertical: Se proyectaron 19 PIV (Punto de Intersección Alineamiento Vertical) en los cuales se trazaron 19 curvas verticales, de las cuales 10 son en columpio y 9 en cresta.

En la **Tabla 38** se presenta un reporte del Alineamiento Vertical Proyectado para el tramo Las Cruces (0+000) – El Caracol (5+420):

Tabla 38: Datos de Curvas Verticales Proyectadas

N°	Tipo de Curva	PC	PI	PT	Longitud (metros)	K
1	Columpio	0+285.41	0+309.20	0+332.99	47.58	31.769
2	Columpio	0+552.02	0+589.65	0+627.28	75.26	4.033
3	Cresta	0+775.51	0+806.72	0+837.94	62.43	5.233
4	Columpio	0+848.08	0+894.71	0+941.34	93.27	6
5	Cresta	1+068.36	1+097.87	1+127.38	59.02	3.711
6	Cresta	1+214.31	1+268.37	1+322.43	108.12	18.454
7	Columpio	1+336.28	1+365.12	1+393.96	57.68	6
8	Cresta	1+435.27	1+486.33	1+537.39	102.12	11.743
9	Columpio	1+576.93	1+595.29	1+613.65	36.72	10.183
10	Columpio	1+651.16	1+676.84	1+702.52	51.36	10.067
11	Cresta	2+081.01	2+103.69	2+126.37	45.35	12.192
12	Columpio	2+271.08	2+352.50	2+433.92	162.84	49.547
13	Cresta	2+631.87	2+676.16	2+720.46	88.59	7.984
14	Columpio	2+805.31	2+826.59	2+847.87	42.56	4.854
15	Cresta	3+046.85	3+125.76	3+204.67	157.81	27.169
16	Columpio	3+610.43	3+629.86	3+649.28	38.85	6
17	Columpio	3+978.19	4+108.43	4+238.66	260.47	30.445
18	Cresta	4+417.14	4+555.98	4+694.83	277.69	31.217
19	Cresta	4+863.83	5+032.42	5+201.01	337.18	299.481

Fuente: Elaboración Propia

5.5.12 Señalización de la Vía.

En la vía se ubicará, tanto señalización vertical como señalización horizontal, esto con el fin de informar y prevenir a los usuarios para que transiten con precaución por la vía **(Ver Planos en Anexos)**.

5.5.13 Datos Finales para Diseño

Tabla 39: Criterios de Diseño

Nº	Descripción	Unidad de Medida	Valor
1	Clasificación Funcional	Colectora Rural	
2	Ancho de Derecho de Vía	Metros	15
3	Tipo de Terreno	Ondulado	
4	Velocidad de Diseño	Km/H	30
5	Velocidad de Ruedo	Km/H	29
6	Vehículo de Diseño	Tipo	BUS
7	Distancia entre Ejes	Metros	7.6
8	Distancia Visibilidad de Parada	Metros	30
9	Distancia Visibilidad de Adelantamiento	Metros	258
10	Coeficiente Fricción Lateral	S/U	0.17
11	Radio de Curva Mínimo	Metros	30
12	Grado de Curvatura Máximo	G Min Seg	38°11'50"
13	Número Carriles de Rodamiento	Unidad	2
14	Ancho Total de Rodamiento	Metros	6.6
15	Ancho Carril Rodamiento	Metros	3.3
16	Ancho de Hombros	Metros	0.5
17	Ancho de Corona	Metros	7.2
18	Pendiente Transversal (Bombeo)	%	3
19	Cuneta Triangulares	Metros	1.5
20	Sobreelevación Máxima(Peralte)	%	8
21	Pendiente Relativa	%	0.75-1/133
22	Superficie de Rodamiento	Tipo	Adoquin de Concreto(3,500 PSI)

Fuente: Elaboración Propia.

CAPITULO VI

DISEÑO DE PAVIMENTO



6.1 Diseño de Pavimento.

El Pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la subrasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito.

Por lo general está conformada por las siguientes capas:

Capa de Rodadura.

Es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto de cemento Portland (rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito.

Base.

Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante ($\text{CBR} \geq 80\%$) o será tratada con asfalto, cal o cemento.

Subbase.

Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta de rodamiento. Además, se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular ($\text{CBR} \geq 40\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento.

6.2 Tipos de Pavimento.

A continuación, se describen los diferentes tipos de pavimentos.

Pavimento flexible

Es una estructura compuesta por capas granulares (subbase, base) y como capa de rodadura una carpeta constituida con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos. Principalmente se considera como capa de rodadura asfáltica sobre capas granulares: mortero asfáltico, tratamiento superficial bicapa, micro pavimentos, macadam asfáltico, mezclas asfálticas en frío y mezclas asfálticas en caliente.

Pavimento semirrígido

Es una estructura de pavimento compuesta básicamente por capas asfálticas con un espesor total bituminoso (carpeta asfáltica en caliente sobre base tratada con asfalto); también se considera como pavimento semirrígido la estructura compuesta por carpeta asfáltica sobre base tratada con cemento o sobre base tratada con cal. Dentro del tipo de pavimento semirrígido se ha incluido los pavimentos adoquinados.

Pavimentos semirrígidos o articulados (adoquinado)

Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concreto prefabricado, llamados adoquines, de espesor uniforme. Esta puede ir ubicada sobre una capa delgada de arena, la cual, a su vez, se apoya sobre una capa de base granular, o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de esta, tomando en cuenta las magnitudes y frecuencia de las cargas que circulan por dicho pavimento

Pavimento rígido

Es una estructura de pavimento compuesta por una capa de subbase granular, no obstante, también esta capa puede ser de base granular, o puede ser estabilizada con cemento, asfalto o cal, y una capa de rodadura de losa de concreto de cemento hidráulico como aglomerante, agregados y en algunos casos con aditivo.

Dentro de los pavimentos rígidos existen tres categorías:

Pavimento de concreto simple con juntas, pavimento de concreto con juntas y refuerzo de acero en forma de fibras o mallas, pavimento de concreto con refuerzo continuo (AASHTO, 1993).

6.3 Consideraciones para el Cálculo.

Las cargas que actúan sobre un pavimento producen a su vez diferentes tensiones y deformaciones en el mismo; espesores de pavimentos y materiales, responden en diferente forma a igual carga.

Los pavimentos se diseñan en función del efecto del daño que produce el paso de un eje con una carga y para que resistan un determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil (MTI, 2010).

6.4 Método para el Diseño de Pavimento Articulado AASHTO-93.

Para la realización del diseño de pavimento se tomaron los análisis previos para así aplicar las normas del AASHTO 93 para el diseño de pavimentos flexibles, el cual según el Manual para revisión de diseño de pavimentos del MTI también es la base para el diseño de pavimento articulado (MTI, 2008).

6.5 Variables de Diseño.

Entre las variables de diseño que considera el método se encuentran las siguientes:

6.5.1 Variable en Función del Tránsito.

Se incluyen las proyecciones de tráfico, los tipos de vehículos y el peso por ejes de los mismos. De igual manera se representa el número de repeticiones de ejes equivalentes de 18 kips (80 kN) ESAL's. La conversión de una carga dada por eje a eje equivalente ESAL's se hace a través de los factores equivalentes de carga (LEF's).

6.5.2 Confiabilidad (R).

Este valor se refiere al grado de seguridad veracidad de que el diseño de la estructura de un pavimento, puede llegar al fin de su periodo de diseño en buenas condiciones. Ver anexo pág. V.

El factor de confiabilidad de diseño tiene en cuenta variaciones al azar tanto en la predicción del tránsito como en la predicción del comportamiento.

A medida que crece el volumen del tránsito aumenta el riesgo de no cumplir con las expectativas de disponibilidad. Esto se puede evitar escogiendo mayores niveles de disponibilidad.

En la **Tabla 40** se presentan niveles de confiabilidad recomendados por la AASHTO, para clasificaciones funcionales diferentes.

Tabla 40: Niveles de confiabilidad sugeridos para diferentes Carreteras

Clasificación	Niveles de Confiabilidad Recomendados	
	Urbana	Rural
Autopistas Internacionales y Otras	85- 99.9	80-99.9
Arterias Principales	80-99	75-95
Colectoras	80-95	75-95
Carreteras Locales	50-80	50-80

Fuente: Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO – 1993

Se tomó una confiabilidad de **85%**, el cual es un valor que se puede emplear para una carretera clasificada como colectoras rural.

6.5.3 Desviación estándar (S_o).

La desviación estándar del sistema toma en cuenta las variaciones en las ecuaciones, las mediciones y los materiales. En la cual se selecciona un nivel de confiabilidad para determinar si el pavimento durara el periodo de tiempo para el que fue diseñado.

Los valores varían dependiendo del tipo de pavimento que se construya por lo tanto las desviaciones estándar (S_o) se recomienda utilizar los valores comprendidos dentro de los intervalos siguientes:

Para pavimentos flexibles **0.40 0.50**

En construcción nueva 0.35 0.40

En sobre-capas 0.50

Para el diseño, se tomó una desviación estándar, **$S_o = 0.45$** , considerando posibles variaciones en el comportamiento del tránsito.

6.5.4 Serviciabilidad.

La serviciabilidad de una estructura de pavimento, es la capacidad que tiene este de servir al tipo y volumen de tránsito para el cual fue diseñado. El índice de serviciabilidad se califica entre 0 para malas condiciones y 5 para condiciones perfectas.

Para el diseño de pavimentos debe asumirse la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final; la inicial (P_o) es función directa del diseño de la estructura de pavimento y de la calidad con que se construye la carretera, la final terminal (P_t) va en función de la categoría del camino y se adopta en base a esto y al criterio del diseñador; los valores que se recomiendan por experiencia son:

Serviciabilidad Inicial

$P_o = 4.5$ para pavimentos rígidos

$P_o = 4.2$ para pavimentos flexibles

Serviciabilidad Final

$P_t = 2.5$ más para caminos principales

$P_t = 2.0$ para caminos de tránsito menor

Se ha tomado un valor **$P_o = 4.2$** y **$P_t = 2$** , para una carretera de pavimento flexible y tránsito menor respectivamente. La variación en el índice de servicio es:

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

Donde:

ΔPSI = Índice de Serviciabilidad

P_o = Índice de serviciabilidad inicial

Pt =Índice de serviciabilidad final

Por lo tanto, el valor de la pérdida de la serviciabilidad para nuestro diseño es:

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.0 = 2.2$$

6.5.5 Coeficiente de Drenaje.

El drenaje de agua en los pavimentos debe ser considerado como parte importante en el diseño de carreteras. El exceso de agua combinado con el incremento de volúmenes de tránsito y cargas, se anticipa con el tiempo para ocasionar daños a las estructuras del pavimento.

A pesar de la importancia que se concede al drenaje en el diseño de carreteras, los métodos corrientes de dimensionamiento de pavimentos incluyen con frecuencia capas de base de baja permeabilidad y consecuentemente de difícil drenaje.

Tabla 41: Coeficientes de Drenaje

Calidad de Drenaje	% de tiempo en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la			
	> 1%	1 – 5 %	5 – 25%	< 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.2
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.8
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.6
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.70	0.4

Fuente: Libro de diseño de pavimentos AASHTO 93. Tercera edición. Pág. 148.

El nuestro caso el valor asumido fue de **m= 1.00**, ya que se presenta una calidad de drenaje bueno.

6.5.6 Periodo de Diseño.

El periodo de diseño es el período que existe entre la construcción o rehabilitación del pavimento y el momento en que ésta alcanza un grado de serviciabilidad mínima. La vida útil para nuestro proyecto es de **20 años**.

6.5.7 Número Estructural (SN).

El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente (a_i), los cuales son requeridos para el diseño estructural normal de pavimento flexible. Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales (SN), siendo cada coeficiente una medida de la capacidad relativa de cada material para funcionar como parte de la estructura de pavimento.

6.5.8 Factor de Equivalencia (FESAL).

Se obtiene las tablas (**Ver Anexo, Tabla 53, Pág. VI**) para ejes sencillos, y para ejes tandem (**Ver Anexo, Tabla 54, Pág. VII**). Conociendo la serviciabilidad final ($P_t=2.0$), el número estructural ($SN=3$) y los pesos se obtienen los factores de equivalencia. Si los pesos de los ejes no se encuentran en estas tablas se deben de interpolar dichos valores.

6.5.9 Análisis de Cargas y Ejes Equivalente para el Diseño de Pavimento.

Para el análisis de carga se utiliza la clasificación de los ejes de carga de cada vehículo, debido a que producen diferentes tensiones y deformaciones en el adoquín.

Los ejes equivalentes se obtienen conociendo el tránsito de diseño y los factores de equivalencia, mediante la siguiente expresión:

$$ESAL \text{ o } W_{18} = TD * \text{Factor ESAL}$$

Para realizar el cálculo del ESAL de diseño es necesario conocer con anticipación el peso de los vehículos que circularán por el camino durante el período de diseño **(Ver Anexos Tabla 51, Tabla 52, Pág. V)**, y el factor de equivalencia de carga.

En base a los datos anteriormente definidos se procedió a la determinación de los Ejes equivalente (ESAL) para cada eje y tipo de vehículos.

Tabla 42: Ejes Equivalentes (ESAL) por Tipo de Vehículo y por Eje

Tipo de Vehículo	Peso por Eje (Ton. Métricas)	Peso por Eje (Kips)	TPDA2019	Factor ESAL's	Tránsito de Diseño	ESAL's de Diseño
Autos	1.00	2.20	12	0.00038	53,212	20
	1.00	2.20		0.00038		20
Jeep	1.00	2.20	13	0.00038	57,646	22
	1.00	2.20		0.00038		22
Camionetas	1.00	2.20	111	0.00038	492,204	187
	2.00	4.40		0.00380		1870
Mbus	2.00	4.40	5	0.00380	22,172	84
	4.00	8.80		0.05760		1277
MB>15P	4.00	8.80	2	0.05760	8,869	511
	8.00	17.60		0.92260		8183
Bus	5.00	11.00	8	0.13950	35,475	4949
	10.00	22.00		2.35		83366
C2 Liv.	4.00	8.80	14	0.05760	62,080	3576
	8.00	17.60		0.92260		57275
C2>5Ton	5.00	11.00	11	0.13950	48,777	6804
	10.00	22.00		2.35		114626
C3	5.00	11.00	3	0.13950	13,303	1856
	16.50	36.30		1.43550		19096
Total de ESALES						303744

Fuente: Elaboración Propia.

6.5.10 Módulo de Resiliencia (MR).

La base para la caracterización de los materiales de subrasante en este método es el Módulo Resiliente, el cual es una medida de la propiedad elástica de los suelos y se determina con un equipo especial que no es de fácil adquisición, por lo tanto, se han establecido correlaciones para calcularlo a partir de otros ensayos, como el CBR. Tomando en cuenta el valor del CBR, utilizaremos la siguiente ecuación para calcular el Módulo de Resiliencia de la Subrasante:

Tabla 43: Calculo de Modulo de Resiliencia

Valor de CBR	Consideración
CBR < 10 %	MR= 1500 x CBR
CBR > 10%	MR= 4,236 x ln (CBR)+ 241

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos, AASHTO 1993.

En este caso como se obtuvo un CBR de diseño para la subrasante de **6%**, utilizaremos el primer criterio para calcular el módulo resiliente de la sub rasante, por tanto:

$$MR= 1500 * CBR$$

Ecuación (28)

$$MR= 1500 * 6\%$$

$$MR= 9000 \text{ PSI}$$

6.6 Diseño Estructural del Pavimento.

Para realizar el diseño de pavimento se tomaron los análisis previos para así aplicar las normas del AASHTO 93 para el diseño de pavimentos flexibles, el cual según el Manual para revisión de diseño de pavimentos del MTI también es la base para el diseño de pavimento articulado (MTI, 2008).

La cual se calcula con la siguiente formula:

$$\log_{10} W_{18} = Z_r S_o + 9.36 \log_{10} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}(\Delta PSI)}{4.20 - 1.50} + 2.32 \log_{10} M_r - 8.07 \quad \text{Ecuación (29)}$$

$$0.40 + \frac{1094}{(SN+1)}$$

Donde:

W_{18} = Número de cargas de ejes simples equivalentes de 18 kips (80Kn) calculadas conforme el tránsito vehicular.

Z_r = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada para una confiabilidad R.

S_o = Desviación estándar de todas las variables.

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad.

M_r = Módulo de resiliencia de la subrasante.

SN= Número estructural.

Una vez obtenido el Numero Estructural (SN), se calculan los espesores de las capas para la cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3 \quad \text{Ecuación (30)}$$

Donde:

a_1, a_2, a_3 = son los coeficientes estructurales o de capa, de la superficie de rodadura, base y subbase respectivamente.

m_2, m_3 =son los coeficientes de drenaje para base y subbase.

D_1, D_2, D_3 = son los espesores de capa en pulgadas para la superficie de rodadura, base y subbase.

6.6.1 Coeficientes de Capas.

El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente (a_n), los cuales son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos. Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales SN.

a₁: Para la carpeta de rodamiento (Adoquín).

a₂: Para base granular

a₃: Para sub base granular.

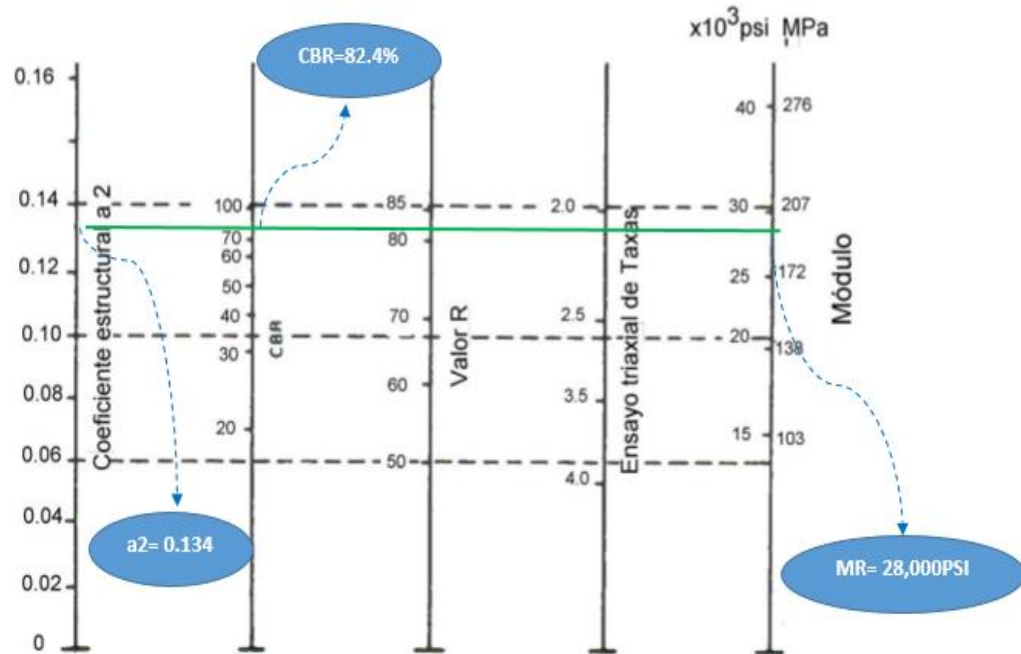
6.6.1.1 Coeficiente Estructural (a₁).

Cuando se utiliza adoquín como carpeta de rodamiento se considera el coeficiente ya establecido de **a₁= 0.45**, valor tomado del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, Capítulo 7, Diseño de Espesores de Pavimento con Adoquín, Método AASHTO 1993.

6.6.1.2 Coeficientes Estructurales para base (a₂) y para Subbase (a₃).

La determinación del coeficiente estructural **a₂** y **a₃** se realizó en base a la aplicación del nomograma para base y subbase granular no tratada proporcionado por la Guía para Diseño de Estructuras de Pavimentos (AASHTO 1993). El valor utilizado para el cálculo **a₂** es el del Banco de Préstamo **#1** que corresponde a un CBR de **82.4%**, de acuerdo al **Gráfico 8, Pág. 95**, en la línea trazada del nomograma se obtuvo en la escala izquierda un coeficiente estructural de **a₂ = 0.134** y en la escala derecha un módulo resiliente para base granular de **Mr= 28,000 PSI**.

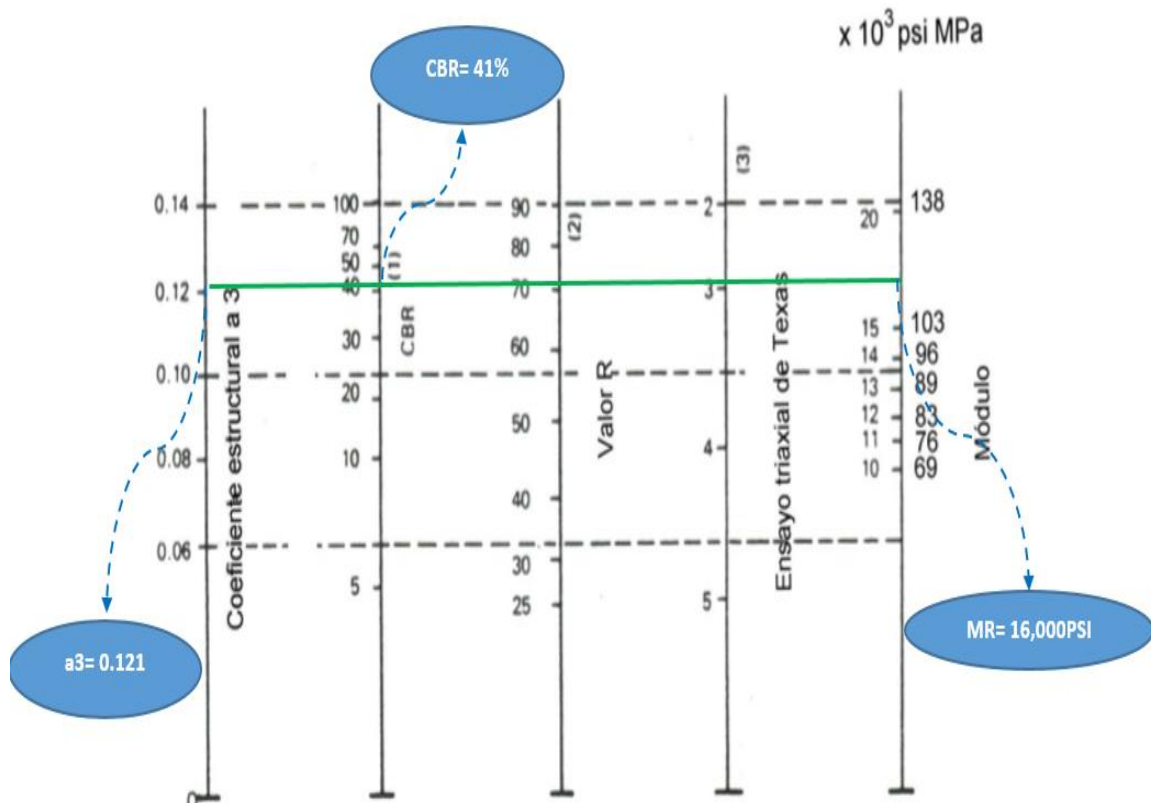
Gráfico 8: Valores de Coeficiente Estructural (a_2) de Bases Granulares



Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93.

Para el coeficiente estructural a_3 se utilizó el CBR del Banco de Préstamo #2 que corresponde a un CBR de **41%** de acuerdo con el **Gráfico 9, Pág. 96** en la línea trazada del nomograma se obtuvo en la escala izquierda un coeficiente estructural de **$a_3 = 0.121$** y en la escala derecha un módulo resiliente para base granular de **$M_r = 16,000 \text{ PSI}$** .

Gráfico 9: Valores de Coeficientes Estructurales (a3) para Subbase Granular



Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93.

6.6.2 Número Estructural (SN1).

El Número Estructural (**SN₁**) para la carpeta de rodamiento, debido que utilizará adoquín, el espesor será de **D1= 4** pulgadas y Coeficiente de capa (**a₁**) para adoquín ya está dado, es de 0.45.

Para el cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

$$SN1 = a_1 \times D1$$

Ecuación (31)

Dónde:

a_1 = coeficiente estructural del adoquín.

D_1 = espesor del Adoquín, en pulgadas.

Realizando la **Ecuación 31**, tenemos:

$$SN_1 = (0.45) * (4)$$

$$SN_1 = 1.8$$

6.6.3 Números Estructurales (SN_2) y (SN_3).

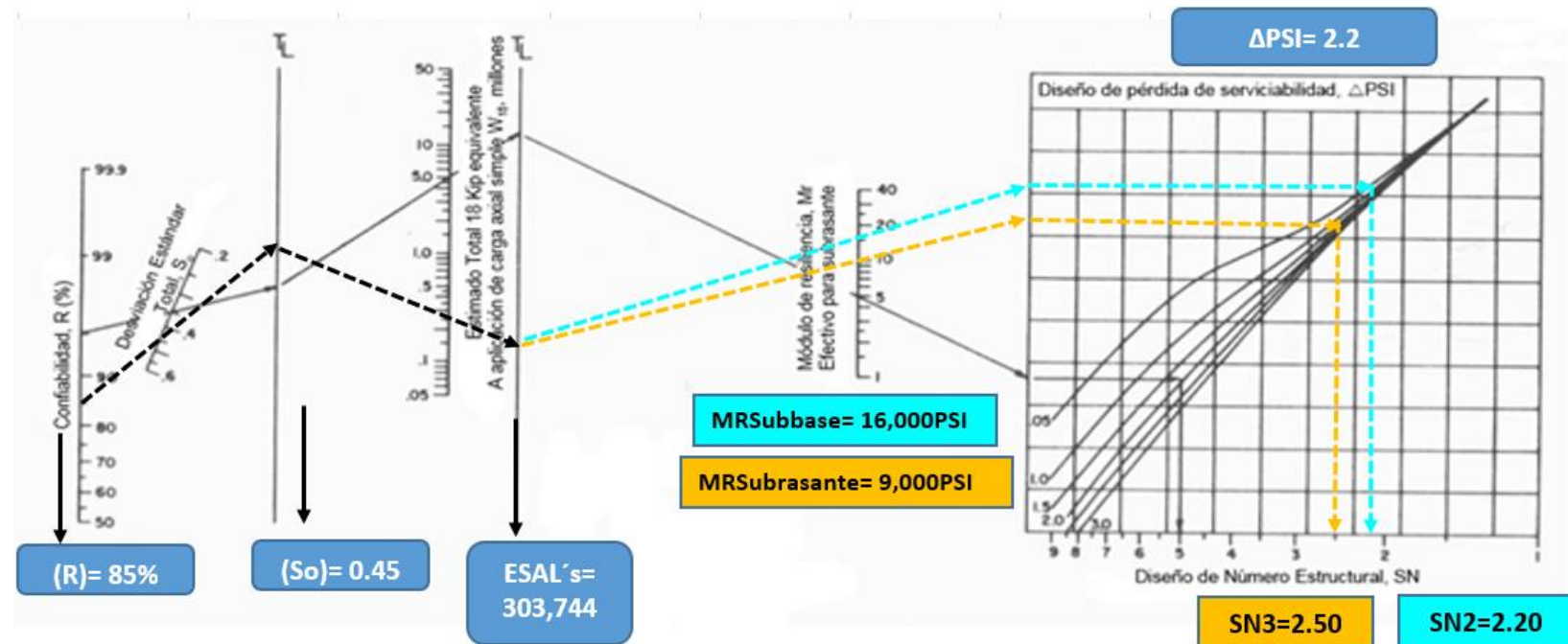
Para el cálculo del Número Estructural (**SN_2**), se utilizó el Ábaco establecido por la Guía para Diseño de Estructura de Pavimentos (**AASHTO 1993 Pág. 3-40**), obteniendo un **$SN_2 = 2.20$** .

Para el cálculo del Número Estructural (**SN_3**) se utilizó el Ábaco establecido por la Guía para diseño de estructura de pavimento (**AASHTO 1993 Pág. 3-40**), obteniendo un **$SN_3 = 2.50$** .

En el **Gráfico 10, pág. 98**, se puede observar el resultado obtenido:

6.6.3.1 Obtención de SN2 y SN3.

Gráfico 10: Diseño de Número Estructural



Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93.

6.6.4 Diseño 1

Cálculo de Espesor de Base (D2) y Subbase (D3).

Teniendo en cuenta que ya se conoce el valor de SN_1 y SN_2 , entonces el valor del espesor de la **base** se obtiene con la siguiente ecuación:

$$D_2 = \frac{(SN_2 - SN_1)}{a_2 * m_2} \quad \text{Ecuación (32)}$$

Sustituyendo valores de **Ecuación 32**, tenemos:

$$D_2 = \frac{(2.20 - 1.8)}{0.134 * 1.00} = 2.99 \text{ Pulg.}$$

$D_2 = 2.99$ pulgadas “No Cumple con Espesor Sugerido”

No cumple con los espesores mínimos establecido en la Guía de Diseño de Pavimento AASHTO 1993, (Ver Tabla 44, Pág. 99).

Tabla 44: Espesores Mínimos Sugeridos por Capa

Numero de ESAL´s	Espesor mínimo (pulgadas)	
	Concreto Asfáltico	Base Granular y Subbase
Menos de 50,000	1	4 Pulgadas
50,000 - 150,000	2	4 Pulgadas
150,000 - 500,000	2.6	4 Pulgadas
500,000 - 2,000,000	3	6 Pulgadas
2,000,000 - 7,000,000	3.6	6 Pulgadas
Más de 7,000,000	4	6 Pulgadas

Fuente: Guía de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993, pág. 3-46.

Se corrige el número estructural (**SN₂**), utilizando **D₂= 4.00 pulgadas**.

$$SN_2^* = a_2 * D_2 * m_2 \quad \text{Ecuación (33)}$$

$$SN_2^* = (0.134) * (4.00) * (1.00)$$

$$SN_2^* = 0.536$$

Teniendo en cuenta que el valor de **SN₃** resultante fue de **2.50**, entonces el valor del espesor de la Subbase se obtiene con la siguiente ecuación:

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_2^* + SN_1^*)}{a_3 * m_3} \quad \text{Ecuación (34)}$$

$$D_3 = \frac{2.50 - (0.536 + 1.8)}{0.121 * 1.00} = 1.36 \text{ Pulg.}$$

D₃ = 1.36 Pulg. “No Cumple con Espesor Sugerido” (Ver Tabla 44, Pág. 99)

Se corrige el número estructural (**SN₃**), utilizando **D₃= 4.00 pulgadas**.

$$SN_3 = a_3 * D_3 * m_3 \quad \text{Ecuación (35)}$$

$$SN_3 = (0.121) * (4.00) * (1) = 0.484 \text{ pulgadas}$$

$$SN_3 = 0.484 \text{ Pulg.}$$

Comprobación.

$$SN1+SN2+SN3 \geq SN \text{ Requerido}$$

Ecuación (36)

$$1.8+0.536+0.484 \geq 2.50$$

$$2.82 \geq 2.50 \text{ CUMPLE}$$

Tabla 45: Espesores de Diseño 1

Resultados		
Espesor Capa Rodamiento(Adoquin)	4 pulg.	10cm
Espesor Arena	2 pulg.	5cm
Espesor Base	4 pulg.	10cm
Espesor Subbase	4 pulg.	10cm

Fuente: Elaboración propia.

En total se obtuvo espesor de 12 pulgadas, sin tomar en cuenta las 2 pulgadas del lecho de arena.

6.6.5 Diseño 2

Se realizó un segundo diseño con el propósito de comprobar si al eliminar la subbase cumple con el SN requerido, en vista de que los ejes equivalentes son mínimos.

Cálculo de Espesor de Base (D2).

$$D_2 = \frac{(2.20-1.8)}{0.134*1} = 2.99 \text{ Pulg.}$$

Según lo establecido en la **Tabla 44, Pág. 99**, el espesor mínimo requerido es de 4 Pulg. Por lo tanto, en el segundo diseño se propone una base de 6 pulgadas.

Se corrige el número estructural (**SN₂**), utilizando **D₂= 6.00 pulgadas**

$$SN_2^* = (0.134) * (6.00) * (1.00) = \mathbf{0.804}$$

$$2.50 \leq 1.8 + 0.804$$

$$2.60 \geq 2.50 \text{ OK}$$

Tabla 46: Espesores de Diseño 2

Resultados		
Espesor Capa Rodamiento(Adoquin)	4 pulg.	10cm
Espesor Arena	2 pulg.	5cm
Espesor Base	6 pulg.	15cm

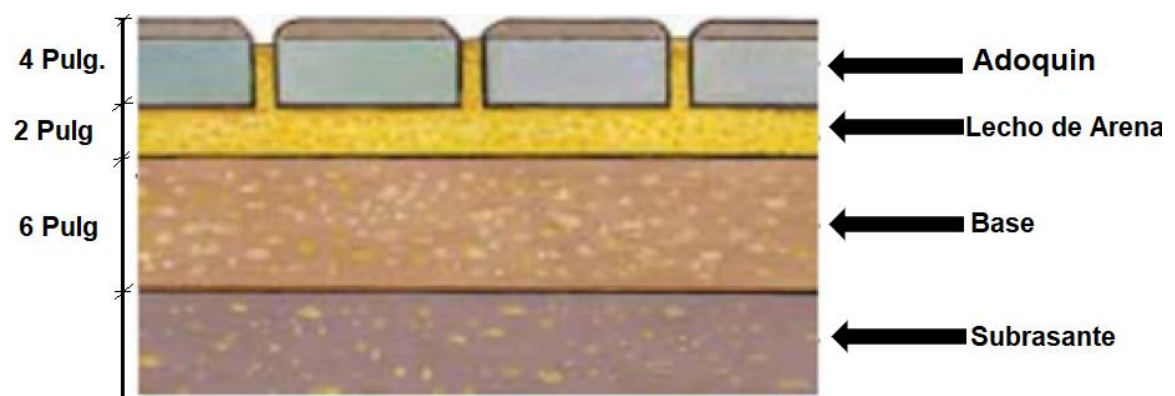
Fuente: Elaboración Propia.

En total se tomará en cuenta un espesor de 10 pulgadas, sin tomar en cuenta la arena en la suma total del espesor requerido, ya que esta no aporta ninguna función estructural. Sin embargo, se encarga de amarrar los adoquines, de igual manera sirve como soporte, y filtro para el agua que logre penetrar entre las juntas.

Obteniendo un diseño más adecuado, ya que se utilizará una sola base, y cumpliendo con las especificaciones requeridas.

A continuación, se presenta los resultados del paquete estructural diseñado:

Ilustración 5: Espesores de Diseño Final



Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIONES

- En el Estudio de Tránsito se realizaron conteos vehiculares durante 7 días consecutivos, en un período de 12 horas diurnas donde se obtuvo un **TPDA** (Tráfico Promedio Diario Anual) de **325 Veh/Dia**. Se obtuvo un factor de crecimiento **FC= 8869** con la cual se procedió a realizar el cálculo del tránsito de diseño, obteniendo **TD= 793,738**.
- En el estudio de Suelo se realizaron un total de 23 sondeos manuales con profundidades máximas de 1.5 metros, los materiales predominantes a lo largo del tramo del camino en estudio, son arena y gravas limosas, que se clasifican, en el sistema H.R.B de la AASHTO 93, como: A-2-4, A-1-b y A-1-a, A-2-6. El cálculo del CBR de la Sub - Rasante resulto de **6%**, este cálculo se realizó tomando un percentil de 75% ya que nuestro ESAL's de **303,744** repeticiones equivalentes a 18,000 libras. Para capa de Base se utilizará el **Banco N°1 Tomas Pinel Ruiz**, ya que el (CBR) cumple con lo establecido en la sección II del Artículo– 1003.23 de la NIC– 2000, en donde se plantean los requisitos que debe cumplir un material utilizado como base granular; el cual presenta un CBR de resistencia de **82.4%** siendo mayor que lo establecido. En caso de utilizar capa Sub-Base se utilizará el **Banco N°2 Samuel Lanzas**, debido a que su resistencia (CBR) se ajusta a lo establecido en la NIC– 2000, el cual presenta un CBR 42% según los ensayos de laboratorio, el cual se encuentra por encima del mínimo requerido según las normas de la NIC 2000.
- Se analizó el estudio topográfico de 5.42 kilómetros del tramo Las Cruces, punto inicial (**Est 0+000**), hasta la comunidad El Caracol, punto final (**Est. 5+420**) el tramo presenta fuertes pendientes siendo la pendiente máxima de -12.91% con una longitud de 309.20mts y se encuentra en los estacionamientos 0+000 y el estacionamiento 0+309.20, la pendiente mínima de este tramo es de -1.28% y se encuentra en los estacionamientos 1+702.52 y el estacionamiento 2+081 con

una longitud de 379mts. La curva de mayor importancia está ubicada entre las estaciones 4+126.97 y 4+185.03 con una longitud de 58.06mts.

- En el Diseño Geometría Vial del tramo de Proyecto **Las Cruces – El Caracol (5.42 kilómetros)**, adoptando las Normas de Diseño del Proyecto mostradas en Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales (Normas SIECA, 2da Edición 2004) o en su defecto la Guía de Diseño Geométrico de la AASHTO (A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, Quinta Edición 2004). El tramo de carretera se diseñó con un ancho de corona de **7.9 metros**, complementada con cunetas triangulares a cada lado de **1.5 metros** de ancho, para un total de sección típica de **9.4 metros**. Se definieron parámetros, tal como; distancia entre ejes (7.6 metros – BUS), coeficiente de fricción longitudinal (0.17), radio de curvatura mínimo (30 metros), pendiente transversal (3%), distancia de visibilidad de parada (30 metros) y adelantamiento (258 metros); todo en función de la velocidad de diseño (30km/h).
- El diseño de la estructura de pavimento, se utilizó el método AASHTO 93, obteniendo como resultado un ESAL's de diseño de **303,744** y un CBR de diseño de **6%** datos obtenido en los capítulos anteriores necesarios para el cálculo de los espesores de la estructura de pavimento (Adoquín). Los coeficientes de capa obtenidos en este capítulo fueron los valores siguientes: Un **a₁** de **0.45**, este coeficiente estructural ya está definido para la capa de rodamiento (Adoquín), un **a₂** de **0.134**, y **a₃** de **0.121** el que se obtuvo haciendo uso del nomograma para base granular y subbase granular. Así mismo se realizó el cálculo del módulo de resiliente de la Subrasante que resultó de **9,000 PSI**. Se realizaron dos diseños para así comparar cuál de los dos podría ser más factible, siendo el más conveniente el **Diseño 2**, ya que solo se comprenderá de una capa de base de 6 pulgadas sin verse afectada la seguridad y viabilidad de la obra.

RECOMENDACIONES

- Se deberá realizar un corte de 0.40 metros y reemplazar con material de préstamo de los bancos analizados en el estudio geotécnico.
- Se recomienda utilizar como fuente de material para la capa base el banco de préstamo **Banco N°1 Tomas Pinel Ruiz**, con el cual se diseñó la estructura de pavimento articulado, ya que cuenta con las especificaciones necesarias para material de base.
- Verificar que los adoquines y arena a emplearse cumplan con las especificaciones de calidad y resistencia expuestas en las normas AASHTO.
- Se deberá colocar un lecho de arena de 2 Pulg. (5 centímetros) del Banco de Material N°3 **Rio Coco**. La arena que se utilizará deberá ser pasada el 100% por la malla No. 4 y deberá estar libre de terrones de arcilla, basura o cualquier otro material inadecuado, libre de material orgánico o material de pómez.
- Se recomienda respetar los espesores de la estructura de pavimento articulado diseñada, los cuales serán: 4" pulgadas de adoquín y 6" pulgadas de base.

BIBLIOGRAFIA

- AASHTO. (1993). *Guía de Diseño de Pavimentos* (Tercera ed.). San Juan: Instituto Nacional de Carreteras de Estados Unidos.
- Agudelo Ospina, J. J. (2002). *Diseño Geometrico de Vias*. Medellin Colombia: Universidad Nacional de Colombia Sede Medellin Facultad de Minas Especialización Vías y Transporte.
- INAA. (1996). *Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamientos de Aguas Residuales*. Managua: INAA.
- Juarez Badillo, E., & Rico Rodriguez, A. (2005). *Mécanica de Suelos*. México DF: Limusa - Noriega Editores.
- MTC. (2013). *Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Lima, Peru: Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
- MTI. (2008). *Manual para la Revisión de Diseños de Pavimentos*. Managua: Ministerio de Transporte e Infraestructura.
- MTI. (2010). *Red Vial de Nicaragua*. Managua: Ministerio de Transporte e Infraestructura.
- MTI. (2018). *Anuario de Aforos de Tráfico Año 2017*. Managua: Ministerio de Transporte e Infraestructura.
- R. Wirshing, J., & H. Wirshing, R. (1987). *Introducción a la Topografía*. México DF: McGRAW-HILL DE MÉXICO, S.A.
- SIECA. (2004). *Normas para el Diseño Geometrico de las Carreteras Regionales*. Guatemala: SIECA.
- SIECA. (2014). *Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito*. Guatemala: SIECA.

ANEXOS

Imagen 2: Carretera en Deterioro - Comunidad Plan Grande










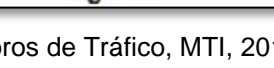
Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3: Plan Grande - El Caracol



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 47: Tipología y Descripción de los Diferentes Tipos de Vehículos

CLASIF. VEHICULAR	TIPOS DE VEHICULOS	ESQUEMA VEHICULAR	DESCRIPCIÓN DE LA TIPOLOGÍA VEHICULAR
VEHICULOS DE PASAJEROS	MOTOCICLETAS		Incluye todos los tipos de Motocicleta tales como, Minimoto, Cuadracicl, Moto Taxis, Etc. Este último fue modificado para que pudiera ser adaptado para el traslado de personas, se encuentran más en zonas Departamentales y Zonas Urbanas. Moviliza a 3 personas incluyendo al conductor.
	AUTOMOVILES		Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas, entre los que podemos mencionar, vehículos coupe y station wagon.
	JEEP		Se consideran todos los tipos de vehículos conocidos como 4x4. En diferentes tipos de marcas, tales como TOYOTA, LAND ROVER, JEEP, ETC.
	CAMIONETA		Son todos aquellos tipos de vehículos con tinas en la parte trasera, incluyendo las que transportan pasajeros y aquellas que por su diseño están diseñadas a trabajos de carga.
	MICROBUS		Se consideran todos aquellos microbuses, que su capacidad es menor o igual a 14 pasajeros sentados.
	MNIBUS		Son todos aquellos con una capacidad de 15 a 30 pasajeros sentados.
	BUS		Se consideran todos los tipos de buses, para el transporte de pasajeros con una capacidad mayor de 30 personas sentadas.
VEHICULOS DE CARGA	LIVIANO DE CARGA		Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.
	CAMIÓN DE CARGA C2 - C3		Son todos aquellos camiones tipos C2 (2 Ejes) y C3 (3 Ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. También se incluyen las furgonetas de carga liviana.
	CAMIÓN DE CARGA PESADA Tx-Sx<=4		Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo Tx-Sx<=4.
	Tx-Sx>=5		Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor Camión y semi Remolque, que sea igual o mayor que 5 ejes.
	Cx-Rx<=4		Camión Combinado, son combinaciones camión remolque que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como Cx-Rx<=4
	Cx-Rx>=5		Son combinaciones iguales que las anteriores pero iguales o mayores cantidades a 5 ejes.
EQUIPO PESADO	VEHICULOS AGRÍCOLAS		Son vehículos provistos con llantas especiales de hule, de gran tamaño. Muchos de estos vehículos poseen arados u otros tipos de equipos, con los cuales realizar las actividades agrícolas. Existen de diferentes tipos (Tractores - Arados - Cosechadoras)
	VEHICULOS DE CONSTRUCCIÓN		Generalmente estos tipos de vehículos se utilizan en la construcción de obras civiles. Pueden ser de diferentes tipos, Motoniveladoras, retroexcavadoras, Recuperador de Caminos/Mezclador, Pavimentadora de Asfalto, Tractor de Cadenas, Cargador de Ruedas y Compactadoras.
OTROS	REMOLQUES Y/O TRAILERS		Se incluye remolques o trailers pequeños halados por cualquier clase de vehículo automotor, también se incluyen los halados por tracción animal (Semovientes).

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico, MTI, 2016

Tabla 48: Formato de Conteos de Tráfico

FORMATO DE CONTEOS DE TRÁFICO																									
TRAMO CARRETERO:													FECHA CONTEO:												
ESTACION:													AFORADOR:												
SENTIDO:																									
			Vehiculos Livianos				Pesados de Pasajeros				Pesados de Carga										Veh.				
			Autos		Jeep	Camionetas Pick UPs	Mbus	MB > 15 P	Bus	Camion C2	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	C4	C2R2	C2R3	Tx5x5	T3S2	T3S3	Otros	Veh. Const.	Veh. Agric.	Veh. Trac. Animal		
Hora	Bicic	Moto																							
1234	1234	12345678	12345678910	1121314151617	1213141516171819	5678	6789	6789	7891011	89101112	89101112	567	456	5678	6789	6789	678910	6789	5678	5678	6789	6789			
567	5678	91011121314	181920212223	20212223242526	27282930313233	91011	101112	101112	121314	13141516	13141516	8910	789	91011	101112	101112	101112	101112	91011	91011	101112	101112			
8910	91011	1516171819	242526272829	27282930313233	34353637383940	1213	131415	131415	151617	17181920	17181920	112	1011	1213	131415	131415	131415	131415	1213	1213	101112	101112			
1112	121314	20212223	303132333435	41424344454647	484950	1415	161718	161718	181920	21222324	21222324	1314	1213	1415	1415	161718	171819	161718	1415	1415	131415	131415			
1314	151617	24252627	3637383940	484950	484950	16	192021	192021	2122	25262728	25262728	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
1516	1819	28293031	3637383940	484950	484950	16	192021	192021	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
20	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
23	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
26	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
29	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
32	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
35	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
38	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
41	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
44	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
47	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
50	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
53	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
56	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
59	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
62	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
65	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
68	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
71	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
74	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
77	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
80	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
83	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
86	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
89	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
92	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
95	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
98	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
101	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
104	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
107	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
110	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
113	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
116	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
119	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
122	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
125	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
128	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
131	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
134	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
137	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
140	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
143	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
146	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930	2930	1516	1415	16	16	222324	232425	1920	16	16	16	16			
149	32333435	3637383940	484950	484950	484950	16	1920	22	2122	2930															

Tabla 49: Clasificación de Suelos AASHTO

CLASIFICACION GENERAL	Materiales Granulares (igual o menor del 35% pasa el tamiz Nº 200)							Materiales Limo - Arcillosos (más del 35% que pasa el tamiz Nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	SUB - GRUPOS	A-1-a		A-1-b	A-2-4	A-2-5	A-2-6				A-2-7
% que pasa el Tamiz:											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características del Material que pasa el tamiz Nº 40											
Límite Líquido			NO PLÁSTICO	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 máx.
Índice de Plasticidad	6máx	6 máx.		10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipos de Material	fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava, arenas limosas y arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Terreno de Fundación	Excelente a Bueno						Regular a Deficiente				

NOTA: El índice de plasticidad de los suelos A-7-5 es igual o menor que su Límite Líquido 30, el de los A-7-6 mayor que su Límite Líquido (fig. 1) se halla indicada la relación ente lo LL e IP de los materiales finos. Dicho de otro modo, el grupo A-7 es subdividido en A-7-5 ó A-7-6 dependiendo del Límite Plástico (L.P.)

Si el LP \geq 30, la clasificación es A-7-6

Si el LP < 30, la clasificación es A-7-5

Fuente: Diseño de Pavimentos, AASHTO 93

Tabla 50: Distancia Mínima de Adelantamiento en base a Velocidad de Diseño

Velocidad de Diseño	Velocidades Km/h		Distancia mínima de adelantamiento (m)
	Vehículo que es rebasado	Vehículo que rebas	
30	29	44	220
40	36	51	285
50	44	59	345
60	51	66	410
70	59	74	480
80	65	80	540
90	73	88	605
100	79	94	670
110	85	100	730













Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA, 2004.

Tabla 51: Cargas Permisibles de Vehículos Livianos y Pasajeros

Tipo de Vehículo	Peso por eje (TON)	Peso por eje (LBS)
AUTOMOVIL	1/1	2200/2200
JEEP	1/1	2200/2200
CAMIONETA	1/2	2200/4400
MC-15	2/4	4400/8800
MC-15-30	4/8	8800/17600
C-2 LIV	4/8	8800/17600
BUS=C2	5/10	11000/22000

Fuente: Departamento de Vialidad MTI /Doc. Clasificación Vehicular.

Tabla 52: Cargas Permisibles por tipo de Vehículo

TIPO DE VEHICULOS	ESQUEMAS DE VEHICULOS	PESO MAXIMO AUTORIZADO						Peso Máximo Total (t) Ton - Met.
		1er. Eje	2do. Eje	3er. Eje	4to. Eje	5to. Eje	6to. Eje	
C2		5.00	10.00					15.00
C3		5.00	16.50					21.50
			8.25	8.25				
C4		5.00	20.00					25.00
			6.67	6.66	6.66			
T2-S1		5.00	9.00	9.00				23.00
T2-S2		5.00	9.00	16.00				30.00
				8.00	8.00			
T2-S3		5.00	9.00	20.00				34.00
				6.67	6.66	6.66		
T3-S1		5.00	16.00					30.00
			8.00	8.00	9.00			
T3-S2		5.00	16.00	16.00				37.00
			8.00	8.00	8.00	8.00		
T3-S3		5.00	16.00	20.00				41.00
			8.00	8.00	6.67	6.66	6.66	
C2-R2		4.50	9.00	4.0 a	4.0 a			21.50
		4.50	9.00	6.5 b	6.5 b			26.50
C3-R2		5.00	16.00	4.0 a	4.0 a			29.00
		5.00	8.00	8.00	6.5 b	6.5 b		34.00
C3-R3		5.00	16.00	4.0 a	5.0 a	5.0 a		35.00
		5.00	8.0 b	8.0 b	6.5 b	5.0 b	5.0 b	37.50

Fuente: Departamento de Vialidad MTI /Doc. Clasificación Vehicular.

Tabla 53: Factores Equivalentes de Carga, Ejes Simples, Pt= 2.0

Tabla 3.1. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, $p_t = 2.0$

Carga por eje (kips)	(KN)	SN					
		1.0 (25.4)	2.0 (50.8)	3.0 (76.2)	4.0 (101.6)	5.0 (127.0)	6.0 (152.4)
2.20	2	8.9	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002
4.40	4	17.8	.002	.003	.002	.002	.002
8.80	6	26.7	.009	.012	.011	.010	.009
11	8	35.6	.030	.035	.036	.033	.031
	10	44.5	.075	.085	.090	.085	.079
	12	53.4	.165	.177	.189	.183	.174
	14	62.3	.325	.338	.354	.350	.338
	16	71.2	.589	.598	.613	.612	.603
17.60	18	80.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	20	89.0	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57
	22	97.9	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35
	24	106.8	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40
	26	115.7	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77
	28	124.6	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52
	30	133.5	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7
	32	142.4	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5
	34	151.3	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9
	36	160.0	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0
	38	169.1	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0
	40	178.0	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0
	42	186.9	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2
	44	195.8	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7
	46	204.7	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7
	48	213.6	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3
	50	222.5	113	108	97	86	81

Fuente: Manual AASHTO– 93 Design Requirements.

Tabla 54: Factores Equivalentes de Carga, Ejes Tándem, Pt= 2.0

Tabla 3.2. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, $p_t = 2.0$

Carga por eje		SN					
(kips)		(mm)					
(KN)		1.0 (25.4)	2.0 (50.8)	3.0 (76.2)	4.0 (101.6)	5.0 (127.0)	6.0 (152.4)
2	8.9	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4	17.8	.0003	.0003	.0003	.0002	.0002	.0002
6	26.7	.001	.001	.001	.001	.001	.001
8	35.6	.003	.003	.003	.003	.003	.002
10	44.5	.007	.008	.008	.007	.006	.006
12	53.4	.013	.016	.016	.014	.013	.012
14	62.3	.024	.029	.029	.026	.024	.023
16	71.2	.041	.048	.050	.046	.042	.040
18	80.0	.066	.077	.081	.075	.069	.066
20	89.0	.103	.117	.124	.117	.109	.105
22	97.9	.156	.171	.183	.174	.164	.158
24	106.8	.227	.244	.260	.252	.239	.231
26	115.7	.322	.340	.360	.353	.338	.329
28	124.6	.447	.465	.487	.481	.466	.455
30	133.5	.607	.623	.646	.643	.627	.617
32	142.4	.810	.823	.843	.842	.829	.819
34	151.3	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	160.0	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	169.1	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	178.0	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	186.9	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	195.8	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	204.7	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	213.6	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	222.5	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	231.4	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	240.3	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	249.2	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	258.1	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	267.0	14.3	13.8	12.7	11.9	12.0	12.6
62	275.9	16.6	16.0	14.7	13.7	13.8	14.5
64	284.7	19.3	18.6	17.0	15.8	15.8	16.6
66	293.6	22.2	21.4	19.6	18.0	18.0	18.9
68	302.5	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	311.4	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	320.3	33.3	32.0	29.1	26.5	26.2	27.4
74	329.2	37.8	36.4	33.0	30.0	29.4	30.8
76	338.1	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	347.0	48.4	46.5	42.0	38.0	37.0	38.6
80	355.9	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43.0
82	364.8	61.1	58.7	52.9	47.6	46.0	47.8
84	373.7	68.4	65.7	59.2	53.0	51.2	53.0

Fuente: Manual AASHTO– 93 Design Requirements.